

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR-INGÉNIEUR

PAR

HOANG · LONG · HUNG

1^{ère} THÈSE. — " Recherche expérimentale sur des consoles courtes en béton armé ".

2^e THÈSE. — Propositions données par la Faculté.

" Combustion turbulente d'un mélange homogène dans les réacteurs et dans les fours ".

Soutenues le 21 Octobre 1968 devant la Commission d'examen.

MM. les Prs SIESTRUNCK *Président.*

VICHNIEVSKY
ROBINSON } *Examineurs.*

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR-INGÉNIEUR

PAR

HOANG - LONG - HUNG

1^{re} THÈSE. — " Recherche expérimentale sur des consoles courtes en béton armé ".

2^e THÈSE. — Propositions données par la Faculté.

" Combustion turbulente d'un mélange homogène dans les réacteurs et dans les fours ".

Soutenues le 21 Octobre 1968 devant la Commission d'examen.

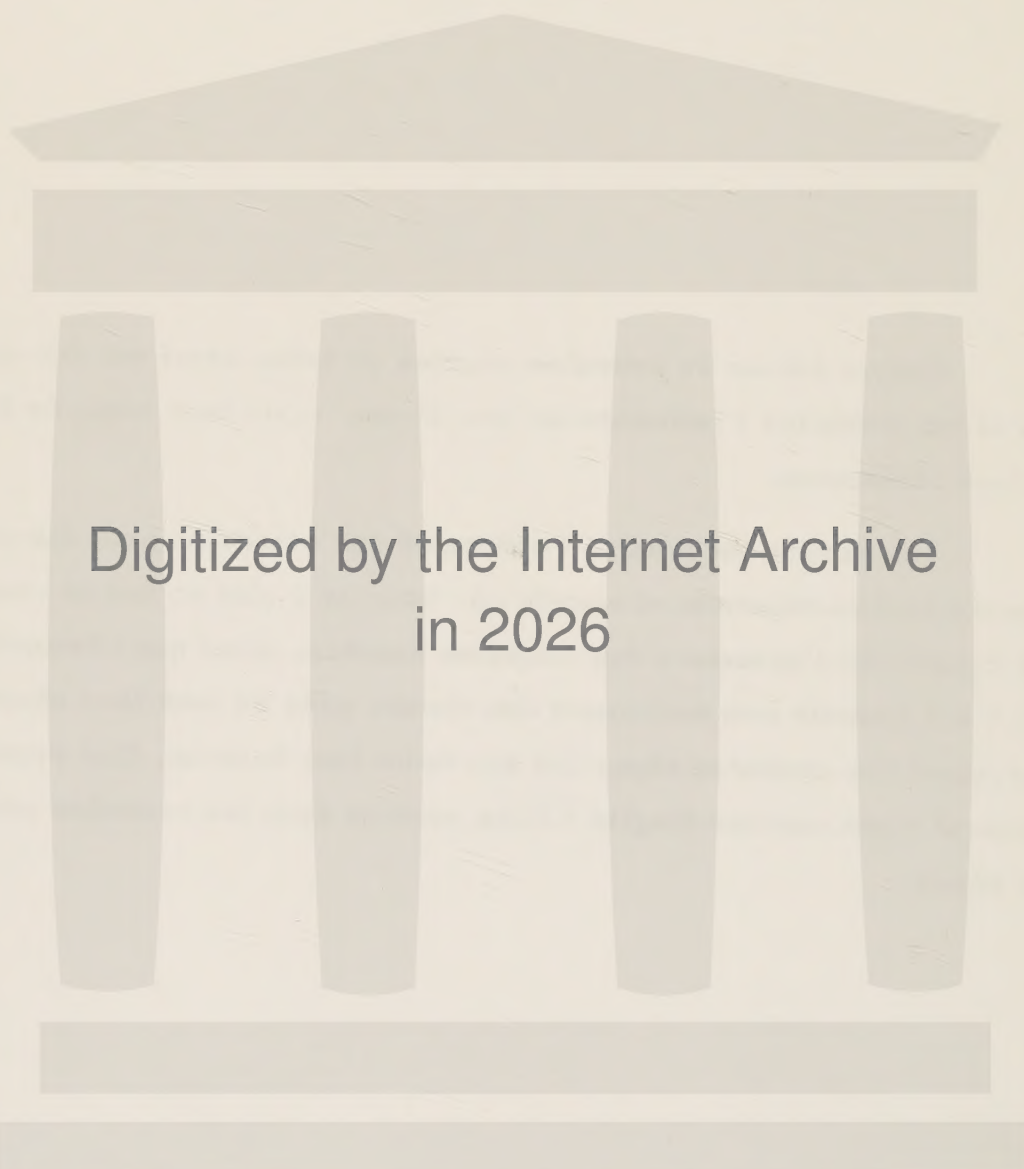
MM. les Prs SIESTRUNCK *Président.*

VICHNIEVSKY
ROBINSON } *Examineurs.*

RESUME.

Quatre séries de consoles courtes en béton armé ont été essayées dans le but d'étudier l'influence de leur forme et de leur mode de ferrailage sur leur résistance.

Les essais ont montré l'efficacité des aciers de petit diamètre, disposés horizontalement et ancrés par boucles à plat en nez de console pour constituer l'armature des consoles courtes, ainsi que l'importance qu'il y a à prévoir non seulement des tirants près de leur face chargée, mais aussi des coutures réparties sur toute leur hauteur. Ces dernières éliminent toute rupture fragile ; elles rendent donc les consoles courtes plus sûres.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554024_0027

1 - INTRODUCTION.

En matière de construction, une console est un élément prismatique, en saillie sur son support et destinée à porter des charges. En béton armé, une console est dite courte si sa portée est au plus égale à sa hauteur.

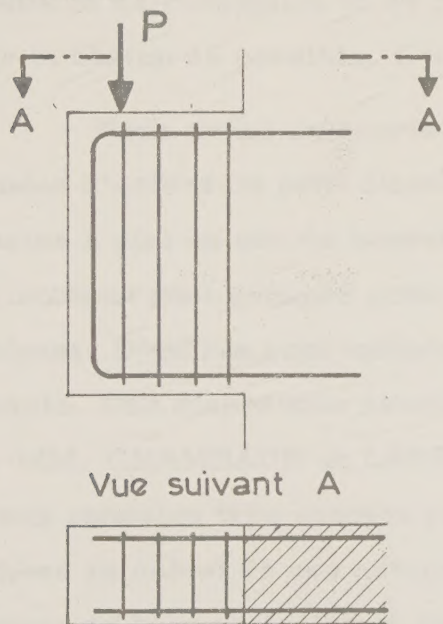
La console courte est un élément constructif fréquemment rencontré. Par exemple, on la trouve comme support de chemin de roulement de pont roulant, comme élément porteur faisant saillie sur la face d'un poteau et servant d'appui à des poutres préfabriquées, comme l'appui mutuel de poutres dites poutres-cantilever etc...

Les consoles courtes sont parmi les éléments les plus délicats de la construction en béton armé. L'étude expérimentale en est difficile parce que très étendue : les formes, les conditions d'appui et de chargement des consoles peuvent être diverses, et plus diverses encore les façons de les armer. Dans ce qui suit nous considérerons seulement des consoles en forme de prismes droits à base rectangulaire et à axe horizontal, admettant un plan de symétrie vertical passant par l'axe, et encastrées sur le parement vertical d'un poteau. L'extrémité libre de la console - ou face d'about - peut être droite ou bien tronquée jusqu'à suppression de la face de fond ou face opposée à la face chargée. Nous nous bornerons au cas où ces consoles sont soumises à une charge concentrée, normale à leur axe et agissant verticalement par compression sur l'une de leurs faces. Ces consoles sont définies par le rapport de leur portée ℓ à la hauteur utile h de leur section d'encastrement - ou portée relative - au plus égal à l'unité ($\frac{\ell}{h} \leq 1$).

Les consoles courtes ont été très étudiées ces dernières années, en particulier par le professeur G. FRANZ et par le Dr H. NIEDENHOFF (Réf. 1 et 2) en Allemagne, et par MM. KRIZ et RATHS (Réf. 3) aux Etats-Unis. A la suite de ces recherches, un certain nombre de résultats ont été acquis que nous pouvons résumer comme il suit :

- l'équilibre interne d'une console courte est assimilable à celui d'un triangle composé d'une barre tendue, ou tirant, sensiblement horizontale et voisine de la face supérieure et d'une barre comprimée, ou bracon, s'étendant de la charge à la partie inférieure de la base encastrée ;

- l'effort de traction dans le tirant est sensiblement constant de la charge à l'appui ; il ne faut donc pas disposer d'arrêts de barres entre la charge et l'appui, et les ancrages du tirant à ses deux extrémités doivent pouvoir équilibrer la totalité de son effort de traction ;
- en nez de console, l'ancrage du tirant doit être disposé au delà de la surface d'application de la charge ;
- pour réaliser cet ancrage, il ne convient pas de courber les barres du tirant dans un plan vertical ; on risque à le faire des ruptures locales du béton ;
- la hauteur de la console sous la charge doit être au moins égale à une fraction déterminée de la hauteur de la base d'encastrement ; sinon la résistance de la région du nez de la console peut limiter celle de la console toute entière ;
- la pression sur la surface d'application de la charge au béton doit être limitée sous peine d'écrasement local de ce béton ;
- des armatures transversales verticales ne sont d'aucune utilité pour la résistance d'une console ; il convient de leur préférer des armatures horizontales ou inclinées.



Signalons que, dans la pratique, l'emploi des armatures à boucle verticale et des étriers verticaux, comme le montre la figure ci-contre, est encore assez courant. L'inefficacité, eu égard à la résistance des consoles sous charge, de ce mode de ferrailage s'est révélée en pratique et se trouve confirmée par les essais (Réf. 3).

Malgré leur étendue, les recherches effectuées n'ont pas exploré tout le champ des dispositions possibles. Les auteurs ont été orientés par les traditions constructives de leur pays respectifs. Les auteurs américains (Réf. 3) ont constitué les tirants de leurs consoles de barres de gros diamètre

dont l'ancrage était réalisé par soudure sur une barre transversale de même diamètre. Ces dispositions ne sont pas compatibles avec l'emploi d'aciers écrouis ou d'aciers naturels non soudables ; elles ne conviennent donc pas à l'Europe. Les mêmes auteurs n'ont pas normalement prévu l'adjonction aux tirants d'armatures auxiliaires ce qui ne paraît pas entièrement satisfaisant. Les auteurs allemands (Réf. 1 et 2), s'ils ont utilisé pour constituer leurs tirants des aciers relativement fins ancrés en nez de console par boucles disposées à plat, n'y ont pas entièrement proscrit les aciers courbés dans des plans verticaux. Pour déterminer les aciers autres que ceux des tirants, ils se sont inspirés de deux hypothèses de travail : le bracon incliné peut être assimilé à un poteau et doit être armé comme tel ; ou bien il peut être assimilé à un élément soumis à l'essai par fendage par compression (essai brésilien) et son armature doit résister aux tractions tendant à provoquer le fendage. Il nous a semblé que d'autres hypothèses pouvaient être aussi bien adoptées.

Ainsi, il nous faut imaginer une conception à priori, adaptée à nos habitudes de conception et de calcul (Réf. 4). Les essais sont très loin de couvrir le champ du possible. C'est aussi le cas de nos essais.

Nous avons entrepris d'expérimenter sur des consoles exclusivement armées d'aciers de petit diamètre, disposés horizontalement et ancrés par boucles à plat en nez de console. Un certain nombre de cours de ces aciers horizontaux sont groupés près de la face chargée de la console pour former le tirant. D'autres sont uniformément répartis sur toute la hauteur de cette console. Une disposition semblable a été préconisée, voici de longues années, par MM. CHAMBAUD et LEBELLE (Réf. 5). Elle ne semble pouvoir convenir qu'aux consoles très courtes parce qu'elle ne comporte pas de tirant. Si l'hypothèse de calcul de ces auteurs, la formation de bielles à 45° sur toute la hauteur de la console, n'est pas confirmée par les essais, elle équivaut à l'application de la "Règle des coutures" apparue dans les règlements français et qui est passée dans les Recommandations du Comité Européen du Béton. C'est cette règle des coutures que nous avons adoptée pour le calcul des armatures, dites coutures, à répartir en sus des tirants.

En définitive, nous avons admis à titre d'hypothèses de travail, de calculer comme suit les armatures des consoles que nous avons essayées. Un tirant est supposé assurer l'équilibre des moments sur la base de la console (Fig. 1) d'où l'équation :

$$(1) \quad \frac{7}{8} h \nu A_t \sigma_e = l P_n$$

où

- h , est la hauteur utile de la console,
- ν , le nombre des cours d'aciers constitutifs du tirant,
- A_t , la section d'un de ces cours,
- σ_e , la limite d'élasticité des aciers du tirant,
- l , la portée de la console,
- P_n , la charge limite nominale de cette console.

Les aciers répartis autres que le tirant sont considérés comme coutures de la section de la base vis-à-vis de l'effort tangent, d'où :

$$(2) \quad \frac{A_c \sigma_e}{t} = \frac{P_n}{h}$$

- A_c , étant la section d'un cours d'aciers de couture,
- σ_e , la limite d'élasticité de ces aciers,
- t , l'espacement de deux cours de couture consécutifs.

2 - CORPS D'EPREUVE SOUMIS A L'ESSAI.

Nous avons gardé constants :

- la hauteur utile : $h = 40$ cm
- l'épaisseur : $b_0 = 28$ cm
- la résistance du béton au jour de l'essai mesurée sur cylindre $\emptyset 16 \times 32$, à la dispersion expérimentale près : $\sigma'_j = 300$ kg/cm².

Nous avons essayé :

- trois portées relatives $\frac{\ell}{h}$: 0,2 ; 0,5 et 0,8
- quatre charges nominales théoriques P_n de la console :
100 ; 75 ; 50 et 25 tonnes par console.

Nous avons fait varier les pourcentages des coutures par rapport au pourcentage théorique déterminé par la "règle des coutures".

Nous avons comparé les quatre formes de consoles représentées à la figure 2. Cependant, comme nous nous sommes imposés, pour éviter les ruptures en nez de consoles, que la hauteur de ces dernières sur la ligne d'action de la charge soit au moins égale à $h/2$, les quatre formes n'ont pu être réalisées pour toutes les portées relatives.

Dans la forme F_4 , dite en corbeau, la longueur de face de fond d conservée (Fig. 2) a été choisie pour que les centres de courbure des boucles d'ancrage de la couture la plus basse soient dans le plan de la base encastrée de la console.

Les séries essayées ont été armées d'aciers ronds lisses de nuance douce.

Les armatures sont déterminées par les équations d'état limite (1) et (2) pour atteindre une limite d'élasticité σ_e , supposée égale à 2 600 kg/cm², sous la charge nominale P_n .

Les tableaux 1 et 2 indiquent la composition des tirants et des coutures des différents corps d'épreuve.

La figure 3 montre le tracé d'un cours d'armatures, de tirant ou de couture, constitué de ronds $\varnothing$ 16 ou $\varnothing$ 12. La figure 4 montre l'étagement des aciers dans quelques consoles choisies. Il est à noter que les consoles ne comportent que les cours horizontaux indiqués comme armatures de résistance. Les consoles de forme F_3 rectangulaire ne comportent pas d'autre acier. Les consoles de formes tronquées F_1 , F_2 et F_4 comportent en sus trois ronds $\varnothing$ 6 de montage dans les boucles des aciers horizontaux qui suivent le contour de l'about de console ; ils sont coupés droit au-dessus du tirant sans se retourner parallèlement à celui-ci.

En définitive, les paramètres étudiés ont été :

- dans les deux premières séries d'essais : la portée relative, la forme des consoles, le diamètre des aciers et la présence ou l'absence de coutures. La charge limite nominale y est fixée à 100 tonnes ;
- dans la 3ème série d'essais : la portée relative, la présence ou l'absence des coutures et la charge nominale théorique de la console (prise égale à 75, 50 et 25 tonnes). Les consoles ont toutes la forme "en corbeau".
- dans la 4ème série d'essais : la portée relative, la charge nominale théorique de la console (prise égale à 50 et 25 tonnes) et le pourcentage des coutures. Les consoles, de la forme "en corbeau", sont toutes munies de coutures.

3 - DISPOSITIF D'ESSAI.

Chaque corps d'épreuve est composé d'un poteau 28 x 50 x 150 cm portant deux consoles symétriques. Il a été soumis à un essai de compression simple en position retournée, les deux consoles reposant sur deux appuis simples comme on peut le voir à la figure 5. Certaines consoles, trop résistantes, n'ont pu être rompues par ce dispositif. Leur essai a été terminé sous la presse de 1 000 t du laboratoire.

Mention doit être faite de la façon dont les consoles reposaient sur leurs appareils d'appui, dont le détail est représenté à la figure 6. Par comparaison avec la figure 3 on verra que les boucles d'ancrage des tirants sont disposées au delà du bord extérieur du balancier de l'appareil d'appui. Dans le sens transversal il est réservé une garde de 1,5 cm entre le bord de ce balancier et le bord de la console. De plus une feuille de néoprène armé est interposée entre l'acier et le béton. Grâce à ces précautions aucun écrasement local n'a été enregistré, bien que la charge ultime observée de nombre de consoles ait dépassé 100 t. La plus grande de ces charges a été de 161 t pour une console dont la résistance du béton était de 328 kg/cm². La pression sur le béton a ainsi atteint :

$$\frac{161\,000}{25 \times 15} = 429 \text{ kg/cm}^2$$

valeur bien supérieure à la résistance de ce béton. Les armatures en boucles à plat ont donc joué le rôle d'un frettage local. C'est là la manifestation d'une propriété d'importance pratique.

4 - FISSURATION SOUS CHARGE.

Pour toutes les consoles, dès la première charge, la première fissure due à la flexion, apparaît à l'angle de la face tendue et du poteau, phénomène signalé par tous les expérimentateurs. Mais, contrairement à ce qui a été observé par certains d'entre eux, cette fissure n'a jamais progressé verticalement dans le plan d'encastrement de la console pour devenir critique ; elle s'est toujours inclinée vers le corps du poteau. Ce sont d'autres fissures, apparaissant sous la surface d'application de la charge et progressant en oblique vers la zone comprimée à l'encastrement qui provoquent l'affaiblissement de cette zone.

La configuration des fissures ne semble pas dépendre en ses traits majeurs de la forme des consoles. En revanche ces fissures sont plus fines et plus nombreuses pour les consoles munies de coutures que pour les consoles qui n'en comportent pas. Cela est visible sur les photographies, figures 7 et 8 données à titre d'exemple.

L'angle moyen des fissures d'une console avec la verticale peut être apprécié à 1° près environ. On constate que cet angle croît avec la portée relative et ne semble pas dépendre des autres paramètres d'une façon bien nette (Fig. 9 et 10). Il apparaît ainsi que, seulement lorsque la portée relative s'approche de l'unité, l'on puisse parler des fissures inclinées à 45°.

5 - CARACTERE DES RUPTURES.

Nous n'avons pas observé de rupture sous nez de console. La hauteur utile minimale de $h/2$ suivant la ligne d'action de la charge apparaît ainsi suffisante.

Nous n'avons pas eu non plus à enregistrer de rupture d'ancrage des aciers des tirants. Les ancrages en boucles à plat sont donc adéquats, même avec les rayons de courbure réduits que nous avons employés surtout pour les ronds $\phi 16$ (cf. Fig. 3).

La rupture d'une console se produit brutalement et sans avertissement si cette console ne comporte pas de coutures. Elle est même "explosive" pour les consoles sans coutures et de faible portée relative ($\frac{l}{h} = 0,2$), elle a pour conséquence le détachement d'un bloc de béton situé sous les aciers du tirant. Elle est, au contraire, progressive et lente pour une console qui comporte des coutures, même lorsque le pourcentage des coutures est faible. La présence des coutures, même à un faible pourcentage, a donc un rôle considérable : elle élimine toute rupture fragile (Fig. 11 et 12).

6 - CHARGES DE RUPTURE.

6,1 - Pièces des deux premières séries d'essais calculées pour une charge limite nominale P_n de 100 tonnes par console.

Les charges de rupture figurent aux tableaux 3 et 4 avec les caractéristiques géométriques des pièces. La figure 13 fait ressortir l'influence des divers paramètres sur les charges de rupture.

Il apparaît que, pour les consoles sans couture, les charges de rupture (de l'ordre de 80 tonnes) sont inférieures aux charges nominales et peu influencées par la portée relative $\frac{l}{h}$. Cette dernière a, par contre, une influence sur les charges de rupture des consoles munies de couture. Si la présence des coutures a peu d'action sur la charge ultime pour les pièces de portée relative $\frac{l}{h}$ égale à 0,8 ; elle augmente sensiblement cette charge

(jusqu'à 110 tonnes environ) pour $\frac{l}{h} = 0,5$ et l'augmente beaucoup (jusqu'à 150 à 160 tonnes environ) pour $\frac{l}{h} = 0,2$, comme le montre la figure 13.

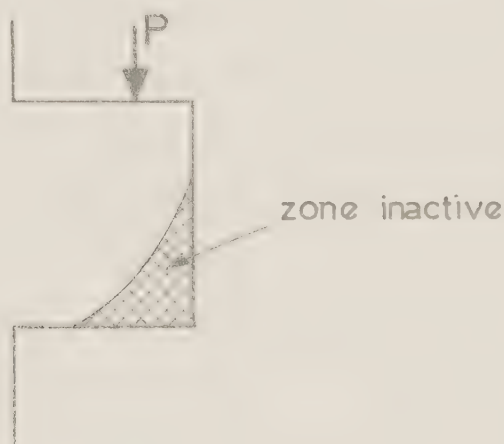
Cette même figure fait aussi ressortir que l'efficacité des coutures est d'autant plus grande qu'elles sont plus fines, et que l'écart des charges de rupture entre consoles comportant des coutures $\varnothing 12$ et des coutures $\varnothing 16$ est plus accentué pour les consoles de faible portée relative ($\frac{l}{h} = 0,2$).

Quant au diamètre des aciers constitutifs des tirants, sa réduction semble avoir une influence favorable mais légère sur la résistance des consoles sans couture, et n'a qu'une action négligeable sur les consoles munies de coutures.

Le tableau 1 montre que les sections réalisées des tirants ne sont pas exactement égales à celles qui ont été déterminées par l'équation d'état limite (1), par suite d'un réajustement à un nombre entier de cours d'armatures. Examinons, d'après la figure 13, le cas des pièces T 12 C 12 (●) T16 C16 (▲) et T16 C12 (■). Bien que les tirants en ronds $\varnothing 16$ (T16) des deux derniers genres de pièces ont même section, les pièces qui comportent des coutures en ronds $\varnothing 12$ - ou C 12 - (■) ont une meilleure résistance sous charge que les pièces comportant des coutures en ronds $\varnothing 16$ (▲). D'autre part, dans le cas de $\frac{l}{h} = 0,2$, bien que les pièces T12 C12 (●) ont une section de tirant (= 9 cm²) plus élevée que celle des pièces T16 C12 (■) (= 8 cm²), elles ont pratiquement les mêmes charges de rupture. Ces remarques confirment donc nos conclusions précédentes, à savoir que les coutures sont d'autant plus efficaces qu'elles sont plus fines, et, que l'action du diamètre des tirants passe au second plan en présence des coutures.

Quant à l'influence de la forme, rappelons-nous d'abord que les 4 formes n'existent pas toutes pour les diverses portées relatives des consoles, la figure 13 montre qu'elle n'a pas d'action sur la charge ultime des consoles sans couture. En revanche, pour les consoles munies de coutures, les formes F_3 et F_4 paraissent plus favorables que les formes F_1 et F_2 , et sont par ailleurs équivalentes. Comment l'expliquer ?

Les essais photoélasticimétriques de Frana et Niedenhoff (Réf. 1 et 2) ont montré qu'il existe, dans les consoles de forme rectangulaire, une zone inactive située dans l'angle inférieur de la console, comme le montre le schéma ci-dessous :



Mais l'ancrage des coutures au delà de la zone active est important. Ainsi, dans la forme "en corbeau" F_4 , il a été prévu, pour l'ancrage du dernier cours d'armatures de couture, une distance d minimale nécessaire pour loger le centre de courbure des boucles à plat ; une distance d plus grande, dans la forme rectangulaire F_3 , n'est pas nécessaire. Ceci explique l'équivalence des formes F_3 et F_4 d'une part et l'influence favorable de ces deux formes sur la résistance des consoles munies de coutures d'autre part.

6,2 - Pièces de la 3ème série d'essais calculées pour des charges limites nominales de 75, 50 et 25 tonnes par console.

Les caractéristiques et les charges de rupture des corps d'épreuve figurent au tableau 5. La figure 14 présente la variation du rapport $\frac{P_u}{P_n}$, charge de rupture sur charge nominale théorique de la console, en fonction de la charge nominale P_n .

Il apparaît, à cette figure 14, que, pour les consoles dépourvues de coutures, les charges ultimes sont inférieures aux charges nominales

(sauf pour les corps d'épreuve déterminés pour la charge nominale théorique de 25 tonnes par console) et peu influencées par la portée relative $\frac{l}{h}$. Cette dernière a, par contre, une influence sur les charges de rupture des consoles munies de coutures. Si la présence des coutures a peu d'influence sur la charge ultime des pièces de portée relative $\frac{l}{h}$ égale à 0,5 ; elle augmente sensiblement cette charge pour $\frac{l}{h} = 0,5$ et l'augmente beaucoup pour $\frac{l}{h} = 0,2$, indépendamment de la charge nominale théorique de la console.

La figure 14 montre, d'autre part, que la valeur des rapports de la charge de rupture à la charge nominale théorique de la console augmente lorsque la charge nominale diminue, indépendamment de la portée relative et de la présence ou l'absence des coutures, l'exception faite pour la pièce C₁ déterminée pour la charge nominale théorique de 15 tonnes.

6,3 - Pièces de la 4ème série d'essais calculées pour des charges limites nominales de 50 et 25 tonnes, et dont le pourcentage des coutures varie.

Les caractéristiques et les charges de rupture des corps d'épreuve de la 4ème série d'essais figurent au tableau 6. La figure 15 met sous une forme sensible l'influence du pourcentage des coutures sur la charge de rupture des consoles calculées pour des charges nominales de 50 et 25 tonnes par console.

Les résultats obtenus confirment la conclusion tirée des trois premières séries d'essais sur le rôle efficace des coutures, et ceci quel que soit le pourcentage de ces dernières. La figure 16 montre, d'autre part, que l'augmentation du pourcentage des coutures augmente peu la charge ultime des pièces de portée relative $\frac{l}{h}$ égale à 0,5 ; elle augmente sensiblement cette charge pour $\frac{l}{h} = 0,5$ et l'augmente beaucoup pour $\frac{l}{h} = 0,2$, indépendamment de la charge limite nominale de la console.

7 - COMPARAISON DES CHARGES ULTIMES OBSERVÉES AUX CHARGES ULTIMES CALCULÉES SUIVANT KRIZ ET RATHS.

Un autre élément d'appréciation important est la comparaison des charges de rupture des consoles sans couture avec les consoles également

sans couture, mais aux tirants de constitution différente de L. B. KRIZ et C. H. RATHS (Réf. 3). Ces derniers ont proposé une formule de calcul qui traduit bien la moyenne de leurs observations. En l'appliquant à nos consoles, nous obtenons des charges de rupture théoriques P_{KR} que nous comparons aux charges ultimes observées P_u aux tableaux 7 et 8. Nos consoles se comportent donc mieux que celles de KRIZ et RATHS. Ce fait semble être dû à l'influence du faible diamètre des aciers qui s'ajoute à celle de l'ancrage par boucles à plat de nos armatures. Les tableaux 7 et 8 montrent, d'autre part, que les écarts entre les charges ultimes observées et les charges ultimes calculées suivant KRIZ et RATHS sont faibles pour les faibles charges limites nominales de la console. La formule de L. B. KRIZ et C. H. RATHS semble donc convenir aux consoles dont le pourcentage d'armatures de tirant est faible.

8 - TYPES DES RUPTURES.

Pour bien juger du rôle des aciers, il est important de savoir s'ils avaient atteint leur limite d'élasticité sous les charges ultimes. Nous dirons qu'il y a eu rupture par l'acier lorsque la limite d'élasticité de ce dernier a été dépassée ; rupture par le béton lorsqu'elle n'a pas été atteinte ; rupture de transition dans un cas douteux.

8,1 - Pièces des deux premières séries calculées pour une charge limite nominale de 100 tonnes par consoles.

Dans la 2ème série d'essais, des consoles jumelles des consoles de forme F_3 rectangulaire de la première série, ont donné lieu à des mesures étendues, par jauges à résistance et par extensomètres mécaniques des déformations de leurs aciers. Les allongements de leurs tirants ont été comparés aux sommes des largeurs des fissures mesurées sur les axes de ces tirants. Pour un corps d'épreuve donné cette somme est inférieure à l'allongement du tirant. La différence relative entre ces deux quantités décroît lorsque la contrainte de l'acier augmente. Elle devient petite lorsque l'acier atteint sa limite d'élasticité. Les corps d'épreuve de la série principale n'ont pas donné lieu à des mesures d'extensométrie ; mais les largeurs de leurs fissures ayant été mesurées, il est possible d'en inférer

avec une approximation suffisante les déformations de leurs tirants lors de leur rupture. Ces remarques permettent de résumer les observations comme il est indiqué au tableau 9.

8,2 - Pièces des deux dernières séries d'essais.

Quant aux pièces des 3ème et 4ème séries d'essais, calculées pour des charges limites nominales plus faibles (75, 50 et 25 tonnes par console), quels que soient leur portée relative, leur mode de ferrailage et leur pourcentage de coutures, elles se rompent toutes par l'acier.

9 - CONCLUSIONS.

Certaines conclusions confirment les faits tenus pour acquis. D'autres mettent en lumière l'efficacité de certains paramètres sur la résistance des consoles courtes en béton armé.

9,1 - Confirmation des faits tenus pour acquis.

L'équilibre interne d'une console courte est assimilable à celui d'un triangle composé d'un tirant sensiblement horizontal et voisin de la face chargée et d'un bracon s'étendant de la charge à la partie inférieure de la base encastrée. L'effort de traction dans le tirant est sensiblement constant de la charge à l'appui ; il ne faut donc pas disposer d'arrêts de barres entre la charge et l'appui et les ancrages du tirant à ses deux extrémités doivent pouvoir équilibrer la totalité de son effort de traction.

En nez de console, l'ancrage du tirant doit être disposé au delà de la surface d'application de la charge. Pour réaliser cet ancrage, il ne convient pas de courber les barres du tirant dans un plan vertical ; on risque à le faire des ruptures locales du béton.

La hauteur de la console sous la charge doit être au moins égale à une fraction déterminée - prise égale à $1/2$ dans nos essais - de la hauteur utile de la base d'encastrement ; sinon la résistance de la région du nez de la console peut limiter celle de la console toute entière.

9,2 - Conclusions tirées des essais effectués.

Comme nous n'avons pas eu à enregistrer de rupture d'ancrage des aciers des tirants, les ancrages en boucles à plat sont donc adéquats, même avec les rayons de courbure réduits que nous avons employés.

Quant à l'importance des coutures réparties sur toute la hauteur des consoles, nos essais ont montré que la rupture d'une console se produit brutalement et sans avertissement si cette console ne comporte pas de coutures. Elle est, au contraire, progressive et lente pour une console qui comporte des coutures ; même lorsque le pourcentage des coutures est faible.

La présence des coutures augmente peu les charges ultimes des consoles de grande portée relative, augmente sensiblement celles des consoles de moyenne portée relative, mais elle accroît énormément la résistance des consoles de faible portée relative. Cet accroissement de la résistance des consoles dû à la présence des coutures réparties est indépendant de la charge nominale théorique de la console et du pourcentage des coutures. Le diamètre des aciers employés en coutures semble jouer un rôle de plus en plus important au fur et à mesure que la portée relative diminue : l'efficacité des coutures est d'autant plus grande qu'elles sont plus fines ; et corrélativement l'influence du diamètre des aciers des tirants semble passer au second plan en présence de coutures. L'augmentation du pourcentage de ces dernières augmente peu la charge ultime des consoles de grande portée relative ; elle augmente sensiblement cette charge pour les consoles de moyenne portée relative, et l'augmente beaucoup pour les consoles de faible portée relative.

Nous pensons avoir montré l'efficacité des aciers horizontaux ancrés par boucles à plat pour constituer l'armature des consoles courtes, ainsi que l'importance qu'il y a à prévoir non seulement des tirants à leur partie supérieure mais aussi des coutures fines réparties sur toute leur hauteur.

Quant à l'influence de la forme des consoles sur leur charge de rupture, elle n'est sensible, et bien peu, que pour la plus faible portée relative.

Quant au type de rupture des pièces déterminées à partir d'une charge nominale théorique de 100 tonnes par console (pièces des 2 premières séries d'essais), la presque totalité des consoles de portée relative égale à 0,2 se rompent par l'acier. Pour les portées relatives de 0,5 et 0,8, les consoles munies de coutures se rompent systématiquement par l'acier et celles qui sont dépourvues de coutures ont une rupture par le béton.

Le fait de pouvoir distinguer, dans ces séries d'essais, les consoles qui se rompent par l'acier et celles qui ont une rupture par le béton indique que les sollicitations de la base de nos consoles sont trop élevées. La résistance du béton s'est ainsi révélée constituer une limitation. Quant aux pièces déterminées à partir d'une charge nominale théorique de 75, 50 ou 25 tonnes par console (pièces des 3ème et 4ème séries d'essais), quels que soient leur portée relative, leur mode de ferrailage et leur pourcentage de coutures, elles ont toutes une rupture par l'acier.

Nos hypothèses de travail, calcul des tirants par la considération du moment fléchissant, et des coutures par celle de l'effort tranchant, sont légèrement optimistes pour les consoles de grande portée relative et déterminées à partir d'une charge nominale théorique de 100 tonnes. Pour les valeurs plus faibles de la charge nominale théorique des consoles de grande portée relative et pour toutes les valeurs de la charge nominale théorique des consoles de moyenne et faible portées relatives, nos hypothèses de travail sont toujours pessimistes. L'écart entre la charge ultime et la charge nominale théorique croît, d'une part, lorsque cette dernière décroît, et, d'autre part, lorsque la valeur de la portée relative diminue. Il conviendrait pour les faibles valeurs de la portée relative et de la charge nominale de réduire le pourcentage des coutures réparties. Ainsi, eu égard, à ce que, d'une part, l'économie faite sur les aciers dans une console courte est faible, et, d'autre part, la présence des coutures réparties sur toute la hauteur de la console joue un rôle en faveur de la sécurité et élimine tout risque de rupture fragile, notre conception de calcul des tirants par la considération du moment fléchissant et des coutures par celle de l'effort tranchant semble convenir à la détermination des consoles courtes en béton armé.

REFERENCES

1 - G. FRANZ und H. NIEDENHOFF

Die Bewehrung von Konsolen und gedrunenen Balken
Beton und Stahlbetonbau. Mai 1963

2 - H. NIEDENHOFF

Untersuchungen über das Tragverhalten von Konsolen und kurzen Kragarmen.
Thèse de docteur-ingénieur 5/6/1961. Technische Hochschule Karlsruhe.

3 - L. B. KRIZ and C. H. RATHS

Connections in precast concrete structures ;
Strength of corbels
Journal of the Prestressed Concrete Institute. February 1965.

4 - J. R. ROBINSON

Cours de béton armé de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
Paris 1962-1963.

5 - R. CHAMBAUD et P. LEBELLE

Formulaire du béton armé, Tome Ier
La Société de diffusion des techniques du Bâtiment et des Travaux
Publics. Ed. Paris.

TABLEAU 1

CONSTITUTION DES TIRANTS DES CONSOLES.

Charge ultime théorique P_n par console (t)	Portée relative $\frac{l}{h}$	0,2	0,5	0,8
100	Section théorique $\checkmark A_t$	8,8 cm ²	22,0 cm ²	35,2 cm ²
	Armatures de 4 ronds $\phi 16$	nombre $\checkmark$ de cours section réalisée	3	4
	Armatures de 4 ronds $\phi 12$	nombre $\checkmark$ de cours section réalisée	5	8
	Section théorique $\checkmark A_t$	9,0 cm ²	22,6 cm ²	36,2 cm ²
75	Section théorique $\checkmark A_t$	6,6 cm ²	16,5 cm ²	26,4 cm ²
	Nombre $\checkmark$ de cours	2 cours de 4 ronds $\phi 10$	2 cours de 4 ronds $\phi 16$	3 cours de 4 ronds $\phi 16$
	Section réalisée	6,3 cm ²	16,1 cm ²	24,1 cm ²
50	Section théorique $\checkmark A_t$	4,4 cm ²	11,0 cm ²	17,6 cm ²
	Nombre $\checkmark$ de cours	2 cours de 4 ronds $\phi 8$	2 cours de 4 ronds $\phi 14$	2 cours de 4 ronds $\phi 16$
	Section réalisée	4,02 cm ²	12,3 cm ²	16,1 cm ²
25	Section théorique $\checkmark A_t$	2,2 cm ²	5,5 cm ²	8,8 cm ²
	Nombre $\checkmark$ de cours	1 cours de 4 ronds $\phi 8$	2 cours de 4 ronds $\phi 10$	2 cours de 4 ronds $\phi 12$
	Section réalisée	2,0 cm ²	6,3 cm ²	9,1 cm ²

TABLEAU 2 .

ESPACEMENTS DE PRINCIPE DES COURS D'ARMATURES DE
COUTURE REPARTIES SUR TOUTE LA HAUTEUR DE LA CONSOLE.

Charge ultime théorique P_n par console (t).	Cours d'armatures de couture.	Section A_c d'un cours d'armature de couture (cm ²)	Espacement t calculé (cm).
100	4 ronds $\emptyset$ 12	4,52	4,7
	4 ronds $\emptyset$ 16	8,05	8,4
75	4 ronds $\emptyset$ 12	4,52	6,3
50	4 ronds $\emptyset$ 10	3,14	6,5
25	4 ronds $\emptyset$ 8	2,01	8,4

Nota : Il est à signaler que la nécessité de disposer un nombre entier de cours a conduit à s'écarter plus ou moins de l'espacement t calculé.

TABLEAU 3

CARACTERISTIQUES ET CHARGE DE RUPTURE DES PIÈCES DE LA 1^{ère} SERIE D'ESSAIS
CALCULEES POUR UNE CHARGE LIMITE NOMINALE DE 100 TONNES PAR CONSOLE.

Pièces	h_t cm	Portée relative $\frac{l}{h}$	ϕ aciers (mm) T C	A_t traction cm ²	A_c couture cm ²	$\frac{A_t}{bh}$ ‰	$\frac{A_c}{bh}$ ‰	$\frac{A_t + A_c}{bh}$ ‰	$2P_u$ (kg) charge rupture totale	P_u (kg) pour chaque console	$\frac{P_u}{bh}$ kg/cm ²
$C_1 F_1 T$	44,4	0,20	12	9,04	0	0,807	0	0,807	160000	80000	71,5
$C_1 F_1 TC$	44,4	0,20	12	9,04	27,12	0,807	2,421	3,228	283000	141500	126,3
$C_1 F_2 T$	44,4	0,20	12	9,04	0	0,807	0	0,807	170000	85000	75,9
$C_1 F_2 TC$	44,4	0,20	12	9,04	27,12	0,807	2,421	3,228	306000	153000	136,6
$C_1 F_3 T$	44,4	0,20	12	9,04	0	0,807	0	0,807	177000	88500	79,0
$C_1 F_3 TC$	44,4	0,20	12	9,04	27,12	0,807	2,421	3,228	313000	156500	139,7
$C_1 F_4 T$	44,4	0,20	12	9,04	0	0,807	0	0,807	170000	85000	75,9
$C_1 F_4 TC$	44,4	0,20	12	9,04	27,12	0,807	2,421	3,228	322500	161250	144
$C_2 F_2 T$	48	0,50	12	22,60	0	2,018	0	2,018	158000	79000	70,5
$C_2 F_2 TC$	48	0,50	12	22,60	27,12	2,018	2,421	4,439	200000	100000	89,3
$C_2 F_3 T$	48	0,50	12	22,60	0	2,018	0	2,018	172000	86000	76,8
$C_2 F_3 TC$	48	0,50	12	22,60	27,12	2,018	2,421	4,439	216000	108000	96,4
$C_2 F_4 T$	48	0,50	12	22,60	0	2,018	0	2,018	160000	80000	71,4
$C_2 F_4 TC$	48	0,50	12	22,60	27,12	2,018	2,421	4,439	210000	105000	93,7

TABEAU 3 (1ère suite)
CARACTÉRISTIQUES ET CHARGE DE RUPTURE DES PIÈCES DE LA 1ère SÉRIE
D'ESSAIS CALCULÉES POUR UNE CHARGE LIMITE NOMINALE DE 100 t PAR CONSOLE.

Pièces	b_t cm	Portée relative $\frac{l}{b}$	Ø aciers (mm)		A_t traction cm ²	A_c couverture cm ²	A_t $\frac{bh}{\sigma_t}$	A_c $\frac{bh}{\sigma_c}$	$A_t + A_c$ $\frac{bh}{\sigma_c}$	$2P_u$ (kg) charge rupture totale	P_u pour chaque console	$\frac{P_u}{bh}$ kg/cm ²
			T	C								
$C_3 F_3 T$	51,6	0,80	12		36,16	0	3,229	0	3,229	147000	73500	65,6
$C_3 F_3 TC$	51,6	0,80	12	12	36,16	27,12	3,229	2,421	5,650	170000	85000	75,9
$C_3 F_4 T$	51,6	0,80	12		36,16	0	3,229	0	3,229	147000	73500	65,6
$C_3 F_4 TC$	51,6	0,80	12	12	36,16	27,12	3,229	2,421	5,650	170000	85000	75,9
$C_4 F_1 T$	43,6	0,20	16		8,04	0	0,718	0	0,718	150000	75000	67,0
$C_4 F_1 TC$	43,6	0,20	16	16	8,04	32,16	0,718	2,871	3,589	220000	110000	98,2
$C_4 F_2 T$	43,6	0,20	16		8,04	0	0,718	0	0,718	150000	75000	67,0
$C_4 F_2 TC$	43,6	0,20	16	16	8,04	32,16	0,718	2,871	3,589	230000	115000	103,0
$C_4 F_3 T$	43,6	0,20	16		8,04	0	0,718	0	0,718	149000	74500	66,5
$C_4 F_3 TC$	43,6	0,20	16	16	8,04	32,16	0,718	2,871	3,589	250000	125000	111,6
$C_4 F_4 T$	43,6	0,20	16		8,04	0	0,718	0	0,718	150000	75000	67,0
$C_4 F_4 TC$	43,6	0,20	16	16	8,04	32,16	0,718	2,871	3,589	289000	144500	129

TABIEAU 3 (2e suite)

CARACTÉRISTIQUES ET CHARGE DE RUPTURE DES ÉProuves DE LA 1re SÉRIE D'ESSAIS
CALCULÉES POUR UNE CHARGE LIMITE NOMINALE DE 100 TONNES PAR CONSOLE.

Éprouves	b_t cm	Portée relative $\frac{l}{R}$	Ø aciers (mm)		A_t traction cm ²	A_c coulure cm ²	$\frac{A_t}{bh}$ ‰	$\frac{A_c}{bh}$ ‰	$2P_u(kg)$ charge rupture totale	$1 \frac{kg}{u}$ pour chaque console	$1 \frac{u}{bh}$ kg/cm ²
			T	C							
C ₅ F ₁ TC	43,6	0,20	16	12	8,04	31,64	0,718	2,825	292000	146000	130,4
C ₅ F ₂ TC	43,6	0,20	16	12	8,04	31,64	0,718	2,825	305000	152500	136,2
C ₅ F ₃ TC	43,6	0,20	16	12	8,04	31,64	0,718	2,825	324000	162000	144,6
C ₅ F ₄ TC	43,6	0,20	16	12	8,04	31,64	0,718	2,825	300000	150000	133,9
C ₆ F ₂ T	46,8	0,50	16		24,12	0	2,154	0	162000	81000	72,3
C ₆ F ₂ TC	46,8	0,50	16	16	24,12	32,16	2,154	2,871	190000	95000	84,8
C ₆ F ₃ T	46,8	0,50	16		24,12	0	2,154	0	127000	63500	56,7
C ₆ F ₃ TC	46,8	0,50	16	16	24,12	32,16	2,154	2,871	200000	100000	89,3
C ₆ F ₄ T	46,8	0,50	16		24,12	0	2,154	0	160000	80000	71,4
C ₆ F ₄ TC	46,8	0,50	16	16	24,12	32,16	2,154	2,871	200000	100000	89,3

TABLEAU 3 (3e suite et dernière)
 CARACTERISTIQUES ET CHARGE DE RUPTURE DES PIÈCES DE LA 1ère SERIE D'ESSAIS
 CALCULEES POUR UNE CHARGE LIMITE NOMINALE DE 100 TONNES PAR CONSOLE.

Pièces	h_t cm	Portée relative $\frac{l}{h}$	ϕ aciers (mm)		A_t fraction cm ²	A_c couture cm ²	A_t $\frac{A_t}{bh}$ ‰	A_c $\frac{A_c}{bh}$ ‰	$A_t + A_c$ $\frac{A_t + A_c}{bh}$ ‰	$2P_u$ (kg) charge rupture totale	P_u (kg) pour chaque console	$\frac{P_u}{bh}$ kg/cm ²
			T	C								
C_7F_2TC	46,8	0,50	16	12	24,12	31,64	2,154	2,825	4,979	220000	110000	98,2
C_7F_3TC	46,8	0,50	16	12	24,12	31,64	2,154	2,825	4,979	220000	110000	98,2
C_7F_4TC	46,8	0,50	16	12	24,12	31,64	2,154	2,825	4,979	210000	105000	93,7
C_8F_3T	48,4	0,80	16		32,16	0	2,871	0	2,871	125000	62500	55,8
C_8F_3TC	48,4	0,80	16	16	32,16	32,16	2,871	2,871	5,742	150000	75000	67,0
C_8F_4T	48,4	0,80	16		32,16	0	2,871	0	2,871	122000	61000	54,5
C_8F_4TC	48,4	0,80	16	16	32,16	32,16	2,871	2,871	5,742	137000	68500	61,2
C_9F_3TC	48,4	0,80	16	12	32,16	27,12	2,871	2,421	5,292	160000	80000	71,5
C_9F_4TC	48,4	0,80	16	12	32,16	27,12	2,871	2,421	5,292	149000	74500	66,5

TABLEAU 4
CARACTERISTIQUES ET CHARGE DE RUPTURE DES PIÈCES DE LA 2^{ème} SERIE D'ESSAIS
CALCULEES POUR UNE CHARGE LIMITE NOMINALE DE 100 TONNES PAR CONSOLE.

Pièces	h_t cm	Portée relative $\frac{l}{h}$	ϕ aciers (mm)	A_t traction cm ²	A_c couture cm ²	$\frac{A_t}{bh}$ ‰	$\frac{A_c}{bh}$ ‰	$\frac{A_t + A_c}{bh}$ ‰	$2P_u$ (kg) charge rupture totale	P_u (kg) pour chaque console	$\frac{l}{bh}$ kg/cm ²
$C_1 F_3 T$	44,4	0,20	12	9,04	0	0,807	0	0,807	170000	85000	75,9
$C_1 F_3 TC$	44,4	0,20	12	9,04	27,12	0,807	2,421	3,228	290000	145000	129,6
$C_2 F_3 T$	48	0,50	12	22,60	0	2,018	0	2,018	160000	80000	71,5
$C_2 F_3 TC$	48	0,50	12	22,60	27,12	2,018	2,421	4,439	205000	102500	91,5
$C_3 F_3 T$	51,6	0,80	12	36,16	0	3,229	0	3,229	150000	75000	67,0
$C_3 F_3 TC$	51,6	0,80	12	36,16	27,12	3,229	2,421	5,650	150000	75000	67,0

TABLEAU 5
CARACTERISTIQUES ET CHARGE DE RUPTURE DES CORPS D'EPREUVE
DE LA 3ème SERIE D'ESSAIS.

Corps d'épreuve	Portée relative $\frac{l}{h}$	Charge no- minale P _n d'une con- sole (kg)	A _t traction cm ²	A _c c couture cm ²	$\frac{A_t}{bh}$ %	$\frac{A_c}{bh}$ %	$\frac{A_t + A_c}{bh}$ %	Charge de rupture tota- le 2P _u (kg)	Charge de rupture d'une console P _u (kg)	$\frac{P_u}{bh}$ kg/cm ²
C' T ₁ 10	0,2	75 000	6,30	0	0,56	0	0,56	125 000	62 500	55,8
C' T ₁ 10 C ₁₂	0,2	75 000	6,30	27,18	0,56	2,43	2,99	230 000	115 000	102,7
C'' T ₁ 8	0,2	50 000	4,02	0	0,36	0	0,36	96 000	48 000	42,9
C''' T ₁ 8 C ₁₀	0,2	50 000	4,02	18,84	0,36	1,68	2,04	203 000	101 500	90,6
C''' T ₁ 8	0,2	25 000	2,01	0	0,18	0	0,18	78 000	39 000	34,8
C''' T ₁ 8 C ₈	0,2	25 000	2,01	10,05	0,18	0,90	1,08	137 000	68 500	61,2
C' T ₂ 16	0,5	75 000	16,10	0	1,44	0	1,44	130 000	65 000	58,0
C' T ₂ 16 C ₁₂	0,5	75 000	16,10	27,18	1,44	2,43	3,87	180 000	90 000	80,4
C' T ₂ 14	0,5	50 000	12,32	0	1,10	0	1,10	120 000	60 000	53,6
C' T ₂ 14 C ₁₀	0,5	50 000	12,32	18,84	1,10	1,68	2,78	150 000	75 000	67,0

TABLEAU 5 (1ère suite et dernière)
CARACTERISTIQUES ET CHARGE DE RUPTURE DES CORPS D'EPREUVE
DE LA 3ème SERIE D'ESSAIS.

Corps d'épreuve	Portée relative $\frac{l}{h}$	Charge nominale P_n d'une console (kg)	A_t traction cm^2	A_c couture cm^2	$\frac{A_t}{bh} \sigma_s$	$\frac{A_c}{bh} \%$	$\frac{A_t + A_c}{bh} \%$	Charge de rupture totale $2P_u$ (kg)	Charge de rupture d'une console P_u (kg)	$\frac{P_u}{bh}$ kg/cm^2
$C'' T_{210}$	0,5	25 000	6,30	0	0,56	0	0,56	80 000	40 000	35,7
$C'' T_{210} C_8$	0,5	25 000	6,30	10,05	0,56	0,90	1,46	115 000	57 500	51,3
$C'' T_{316}$	0,8	75 000	24,10	0	2,15	0	2,15	110 000	55 000	49,1
$C'' T_{316} C_{12}$	0,8	75 000	24,10	27,18	2,15	2,43	4,58	150 000	75 000	67,0
$C'' T_{316}$	0,8	50 000	16,10	0	1,44	0	1,44	95 000	47 500	42,4
$C'' T_{316} C_{10}$	0,8	50 000	16,10	18,84	1,44	1,68	3,12	120 000	60 000	53,6
$C'' T_{312}$	0,8	25 000	9,04	0	0,81	0	0,81	65 000	32 500	29,0
$C'' T_{312} C_8$	0,8	25 000	9,04	10,05	0,81	0,90	1,71	85 000	42 500	37,9

TABLEAU 6

CARACTERISTIQUES ET CHARGE DE RUPTURE DES CORPS D'EPREUVE
DE LA 4ème SERIE D'ESSAIS

Corps d'épreuve	Portée relative $\frac{l}{h}$	ϕ aciers (mm)		σ_c couture	A_t traction cm ²	A_c couture cm ²	$\frac{A_t}{bh}$ %	$\frac{A_c}{bh}$ %	$\frac{A_t + A_c}{bh}$ %	Par console		$\frac{P_u}{bh}$ kg/cm
		T	C							Charge no- minale P_n (kg)	Charge ultime (kg)	
C ^{''} T ₈ C ₈ 0,64	0,2	8	8	0,64	4,02	12,06	0,359	1,077	1,436	50 000	78 000	69,6
C ^{''} T ₈ C ₆ 0,36	0,2	8	6	0,36	4,02	6,78	0,359	0,605	0,964	50 000	75 000	67,0
C ^{'''} T ₈ C ₁₀ 1,56 0,2	0,2	8	10	1,56	2,01	15,70	0,179	1,402	1,581	25 000	95 000	84,8
C ^{'''} T ₈ C ₆ 0,56 0,2	0,2	8	6	0,56	2,01	5,65	0,179	0,504	0,683	25 000	65 000	58,0
C ^{''} T ₁₄ C ₈ 0,64 0,5	0,5	14	8	0,64	12,32	12,06	1,10	1,077	2,177	50 000	80 000	71,4
C ^{''} T ₁₄ C ₆ 0,36 0,5	0,5	14	6	0,36	12,32	6,78	1,10	0,605	1,705	50 000	70 000	62,5
C ^{'''} T ₁₀ C ₁₀ 1,56 0,5	0,5	10	10	1,56	6,30	15,70	0,562	1,402	1,964	25 000	70 000	62,5
C ^{'''} T ₁₀ C ₆ 0,56 0,5	0,5	10	6	0,56	6,30	5,65	0,562	0,504	1,066	25 000	52 500	46,9
C ^{''} T ₁₆ C ₈ 0,64 0,8	0,8	16	8	0,64	16,10	12,06	1,437	1,077	2,514	50 000	60 000	53,6
C ^{''} T ₁₆ C ₆ 0,36 0,8	0,8	16	6	0,36	16,10	6,78	1,437	0,605	2,042	50 000	54 000	48,2
C ^{'''} T ₁₂ C ₁₀ 1,56 0,8	0,8	12	10	1,56	9,04	15,70	0,807	1,402	2,209	25 000	50 000	44,6
C ^{'''} T ₁₂ C ₆ 0,56 0,8	0,8	12	6	0,56	9,04	5,65	0,807	0,504	1,311	25 000	40 000	35,7

TABLEAU 7

COMPARAISON DES CHARGES ULTIMES OBSERVEES AUX CHARGES ULTIMES
CALCULEES SUIVANT KRIZ ET RATHS DES PIECES ARMEES SEULEMENT

D'UN TIRANT. (1ère série d'essais).

PIECES	Portée relative $\frac{l}{h}$	diamètre aciers du tirant (mm)	R_u Kriz et Raths (kg)	Pu observée (kg)	<u>Pu observée</u> Pu Kriz et Raths.
$C_1 F_1 T$	0,2	12	57 680	80 000	1,39
$C_1 F_2 T$	0,2	12	56 896	85 000	1,49 1,49
$C_1 F_3 T$	0,2	12	56 112	88 500	1,58
$C_1 F_4 T$	0,2	12	56 896	85 000	1,49
$C_2 F_2 T$	0,5	12	53 984	79 000	1,46
$C_2 F_3 T$	0,5	12	57 792	86 000	1,49 1,47
$C_2 F_4 T$	0,5	12	54 992	80 000	1,45
$C_3 F_3 T$	0,8	12	53 200	73 500	1,38 1,40
$C_3 F_4 T$	0,8	12	52 080	73 500	1,41
$C_4 F_1 T$	0,2	16	52 752	75 000	1,42
$C_4 F_2 T$	0,2	16	54 768	75 000	1,37 1,42
$C_4 F_3 T$	0,2	16	51 632	74 500	1,44
$C_4 F_4 T$	0,2	16	51 072	75 000	1,47
$C_6 F_2 T$	0,5	16	59 024	81 000	1,37
$C_6 F_3 T$	0,5	16	60 368	63 500	1,05 1,22
$C_6 F_4 T$	0,5	16	64 400	80 000	1,24
$C_8 F_3 T$	0,8	16	50 624	62 500	1,23 1,24
$C_8 F_4 T$	0,8	16	48 496	61 000	1,26

TABLEAU 8

COMPARAISON DES CHARGES ULTIMES OBSERVEES AUX CHARGES ULTIMES CALCULEES
SUIVANT KRIZ ET RATHS DES PIÈCES ARMEES SEULEMENT D'UN TIRANT.
(3ème SERIE D'ESSAIS).

Pièces	Portée relative $\frac{L}{h}$	Charge nominale P_n par console (kg)	Diamètre aciers du tirant (mm)	P_u Kriz et Raths (kg)	P_u observée (kg)	$\frac{P_u \text{ observée}}{P_u \text{ Kriz et Raths}}$
$C'_1 T_{10}$	0,2	75 000	10	53 312	62 500	1,17
$C''_1 T_8$	0,2	50 000	8	44 268	48 000	1,08
$C'''_1 T_8$	0,2	25 000	8	33 320	39 000	1,17
$C'_2 T_{16}$	0,5	75 000	16	56 016	65 000	1,16
$C''_2 T_{14}$	0,5	50 000	14	49 980	60 000	1,20
$C'''_2 T_{10}$	0,5	25 000	10	39 384	40 000	1,02
$C'_3 T_{16}$	0,8	75 000	16	49 694	55 000	1,11
$C''_3 T_{16}$	0,8	50 000	16	41 217	47 500	1,15
$C'''_3 T_{12}$	0,8	25 000	12	34 424	32 500	0,94

TABLEAU 9

TYPES DES RUPTURES OBSERVEES DES PIECES DES DEUX PREMIERES SERIES D'ESSAIS.

Légende des ruptures :		Portée relative		
par l'acier.....	RA			
par le béton.....	RB			
de transition.....	RT	0,2	0,5	0,8
Sans couture $\emptyset$ 16			RB	
avec ———	RA*		———	RB
tirant en : $\emptyset$ 12			RT	
Avec coutures	RA	RA	RA	RA**

* sauf la pièce de forme F_1 à tirant en ronds $\emptyset$ 12 qui se rompt par le béton.

** sauf la pièce de forme F_3 à tirant et coutures en ronds $\emptyset$ 12 qui se rompt par le béton.

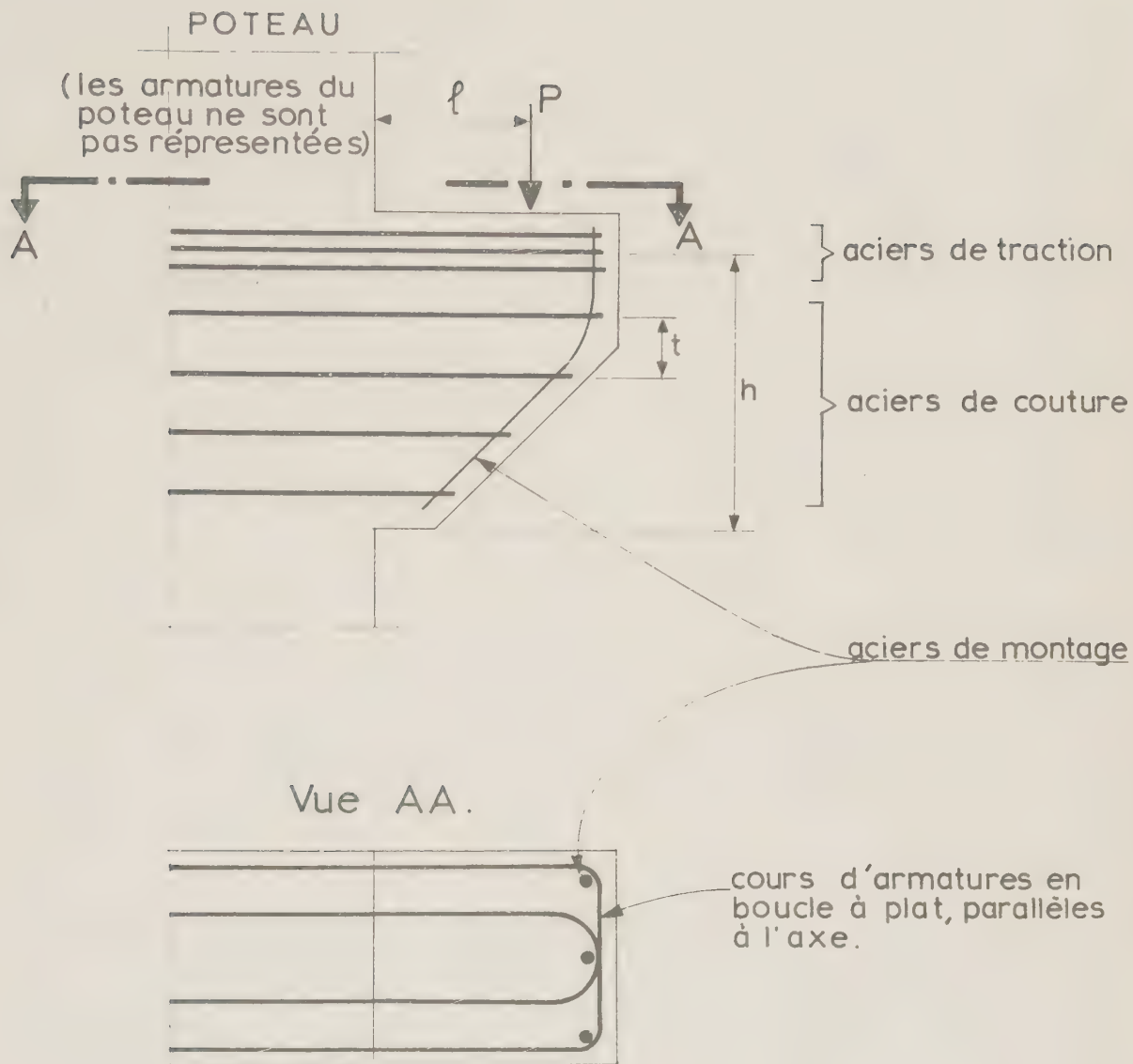


FIGURE 1 - SCHEMA DU FERRAILLAGE ET FORME EN BOUCLE A PLAT DES ARMATURES D'UNE CONSOLE SUIVANT LA CONCEPTION MISE A L'ETUDE.

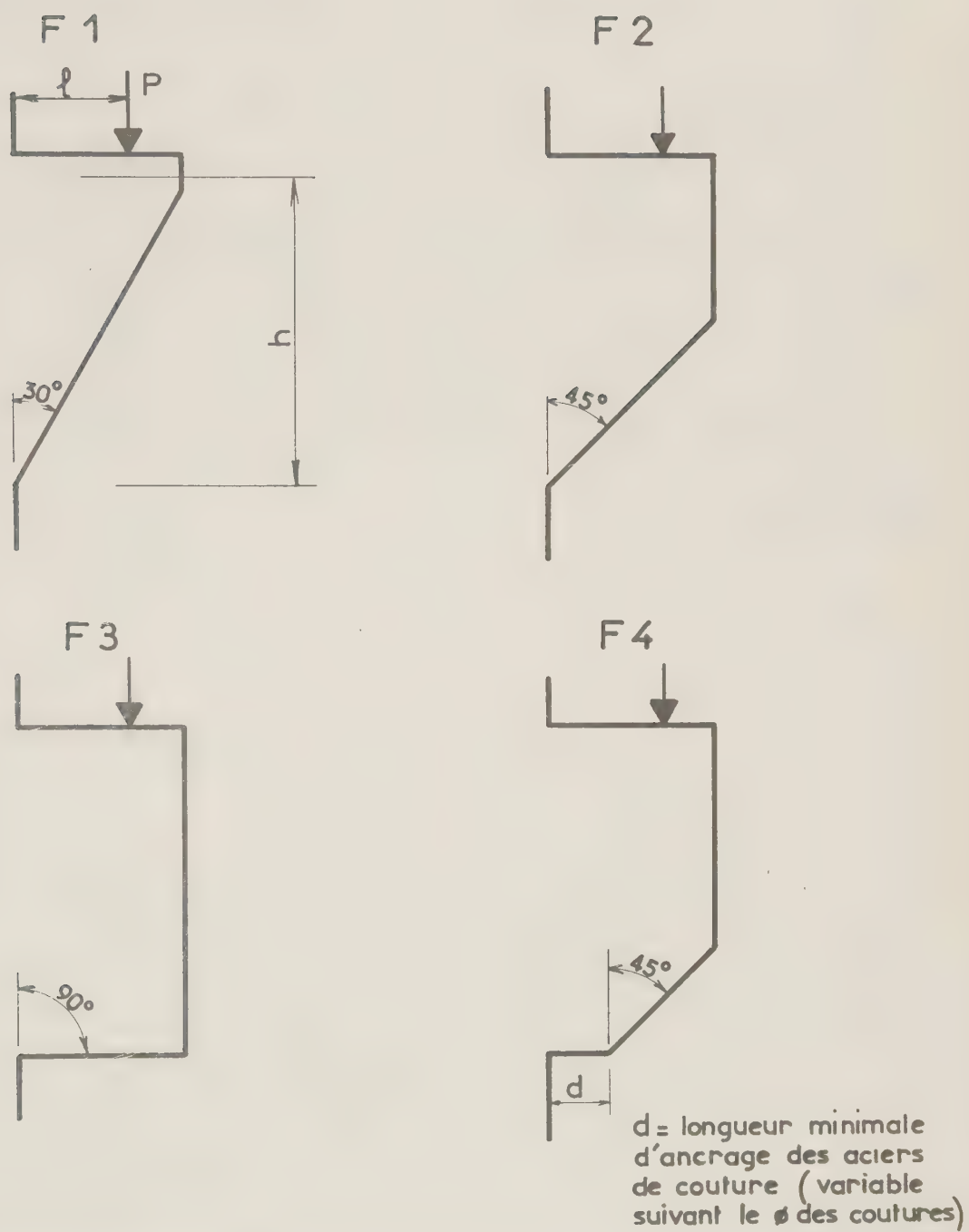
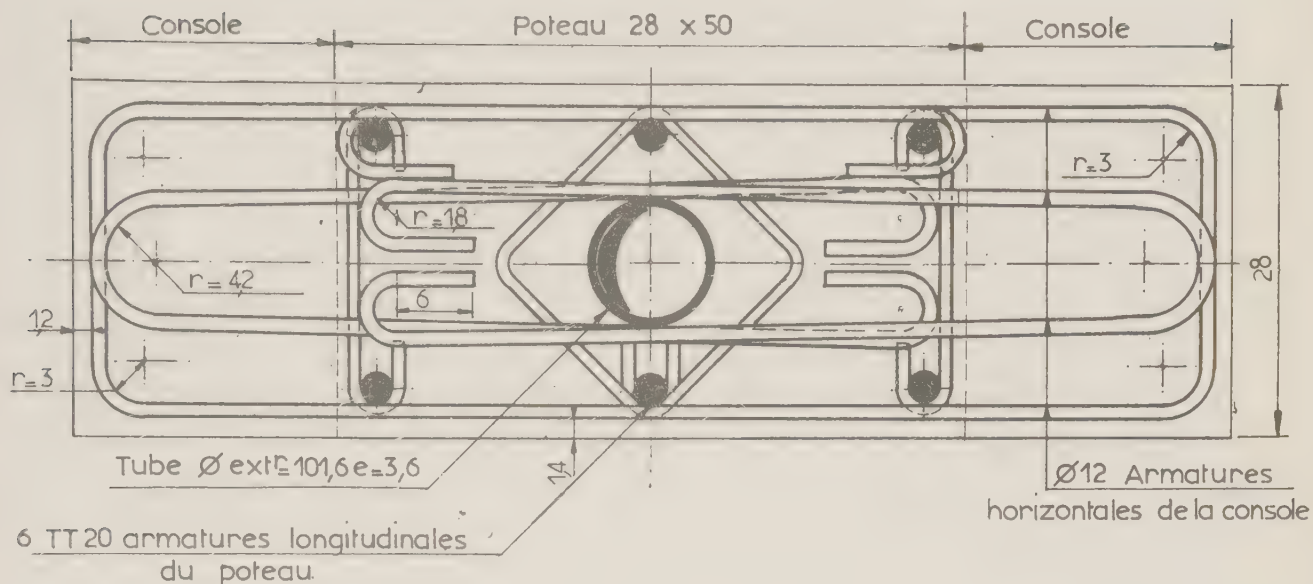


FIGURE 2 - FORMES DE CONSOLES ESSAYEES.

Cours d'armatures de 4 ronds $\varnothing 12$



Cours d'armatures de 4 ronds $\varnothing 16$

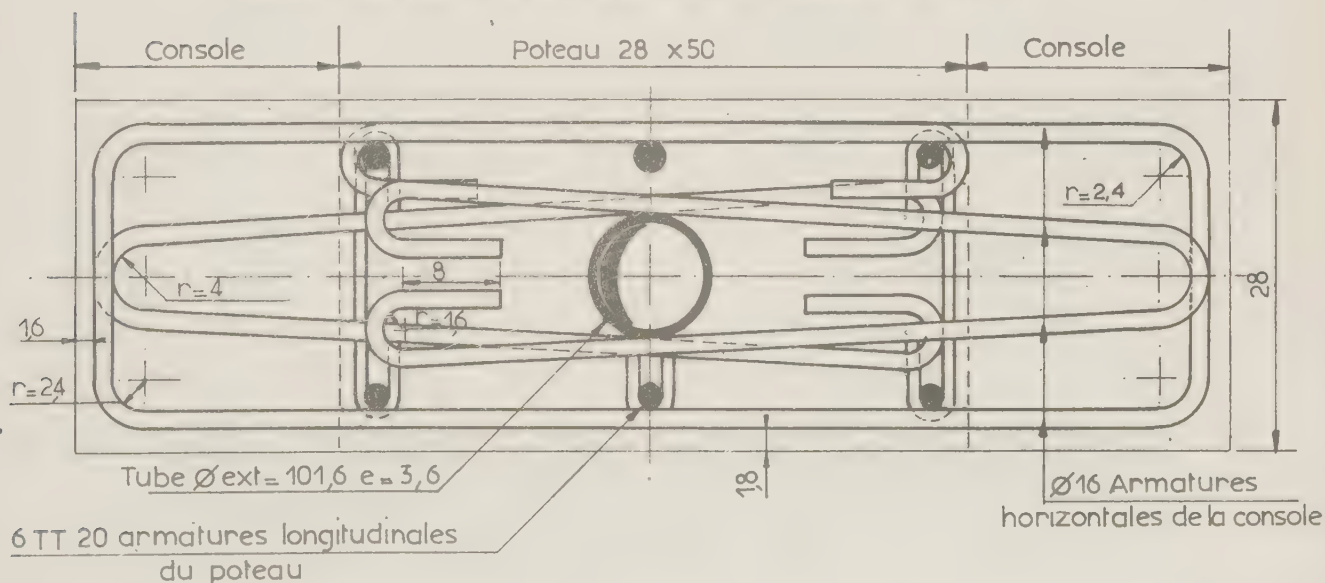


FIGURE : 3 - PLAN COUPE SUR CORPS D'EPREUVE MONTRANT LE TRACE DES COURS D'ARMATURES DE 4 RONDS $\varnothing 12$ ET DE 4 RONDS $\varnothing 16$.

LE CORPS D'EPREUVE SE COMPOSE D'UN POTEAU 50 x 28 PORTANT DEUX CONSOLES JUMELLES.

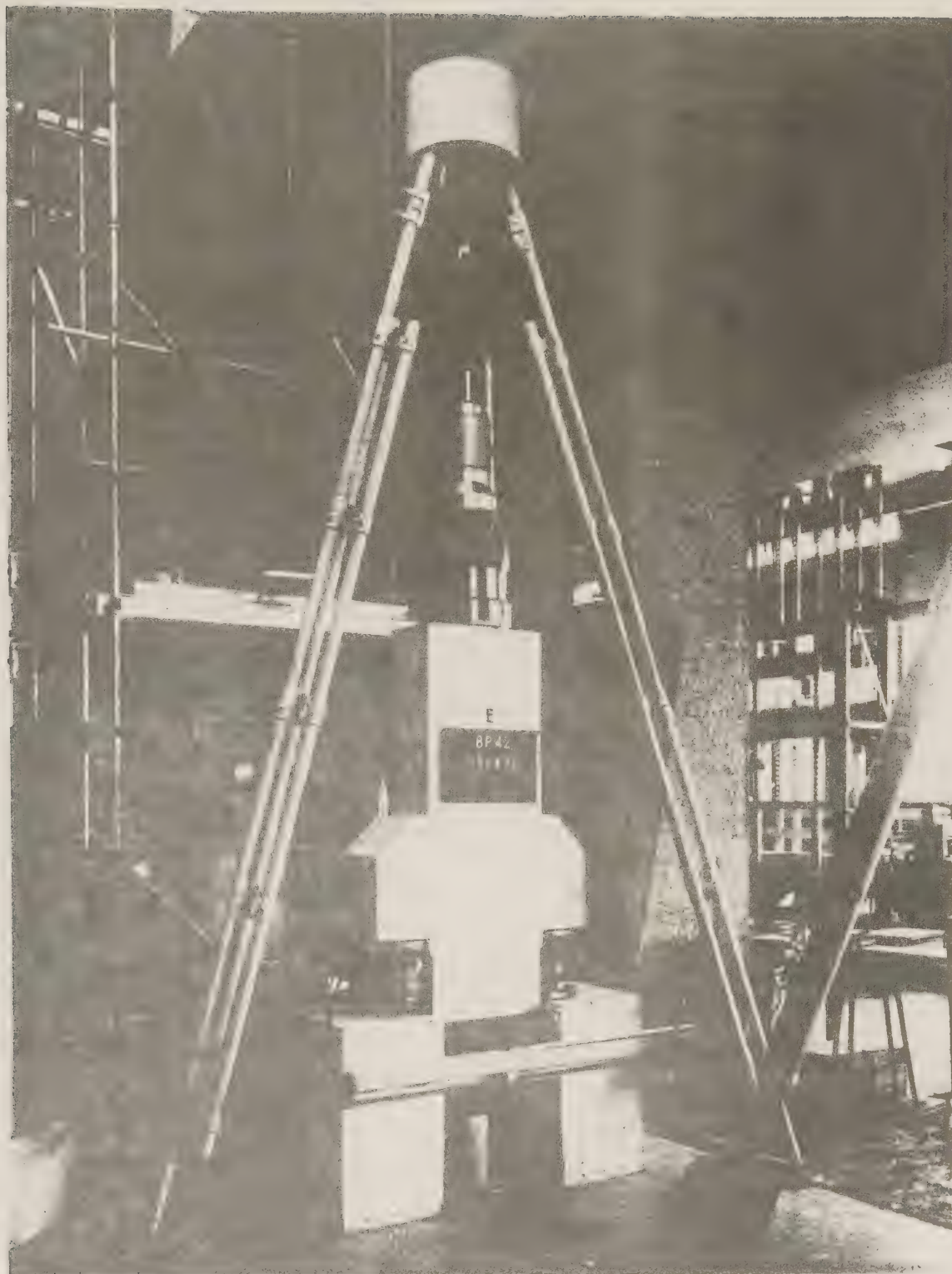
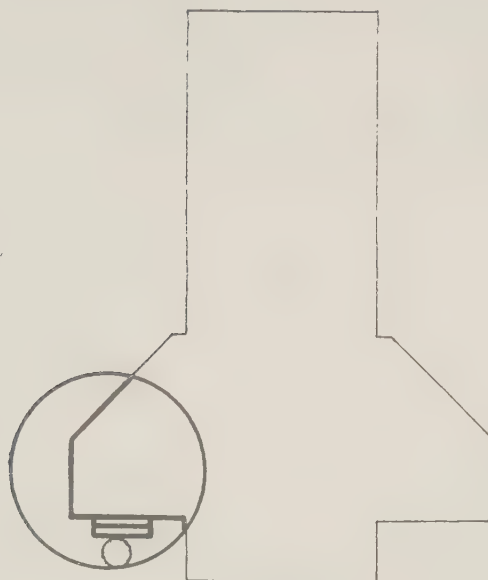
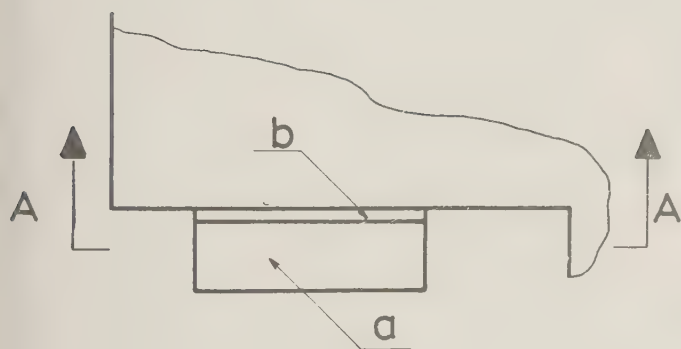


FIGURE 5 : ESSAI D'UN CORPS D'EPREUVE. LES CONSOLES REPOSENT SUR DEUX APPAREILS A ROULEAU. L'EFFORT DE COMPRESSION EST DEVELOPPE PAR UN VERIN ANNULAIRE DE 250 T AGISSANT SUR UNE TIGE AXIALE ANCRÉE A LA PLATEFORME. LE TREPIED SUPPORTE UNE SUSPENSION DE SECURITE.

ELEVATION



DETAIL



COUPE A

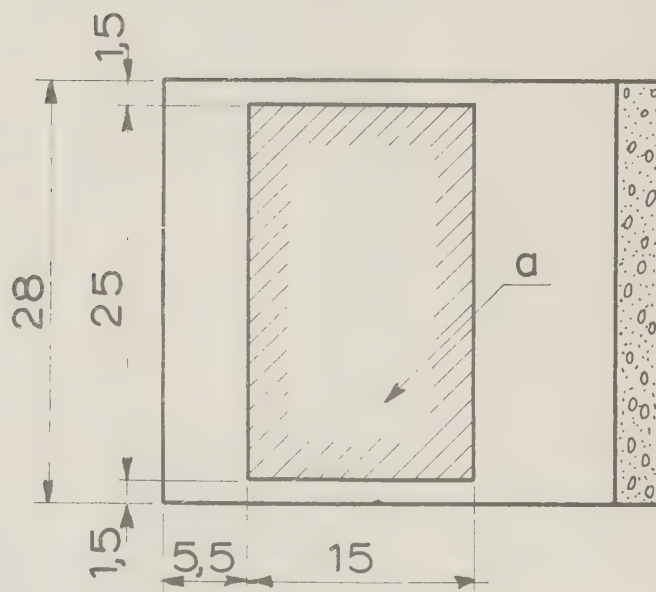


FIGURE 6 - DETAIL DE L'APPUI D'UNE CONSOLE.

- a) BALANCIER DE L'APPAREIL D'APPUI A ROULEAU.
- b) FEUILLE DE NEOPRENE DE 5mm ENTRE DEUX TOLES COLLEES DE 1 mm.

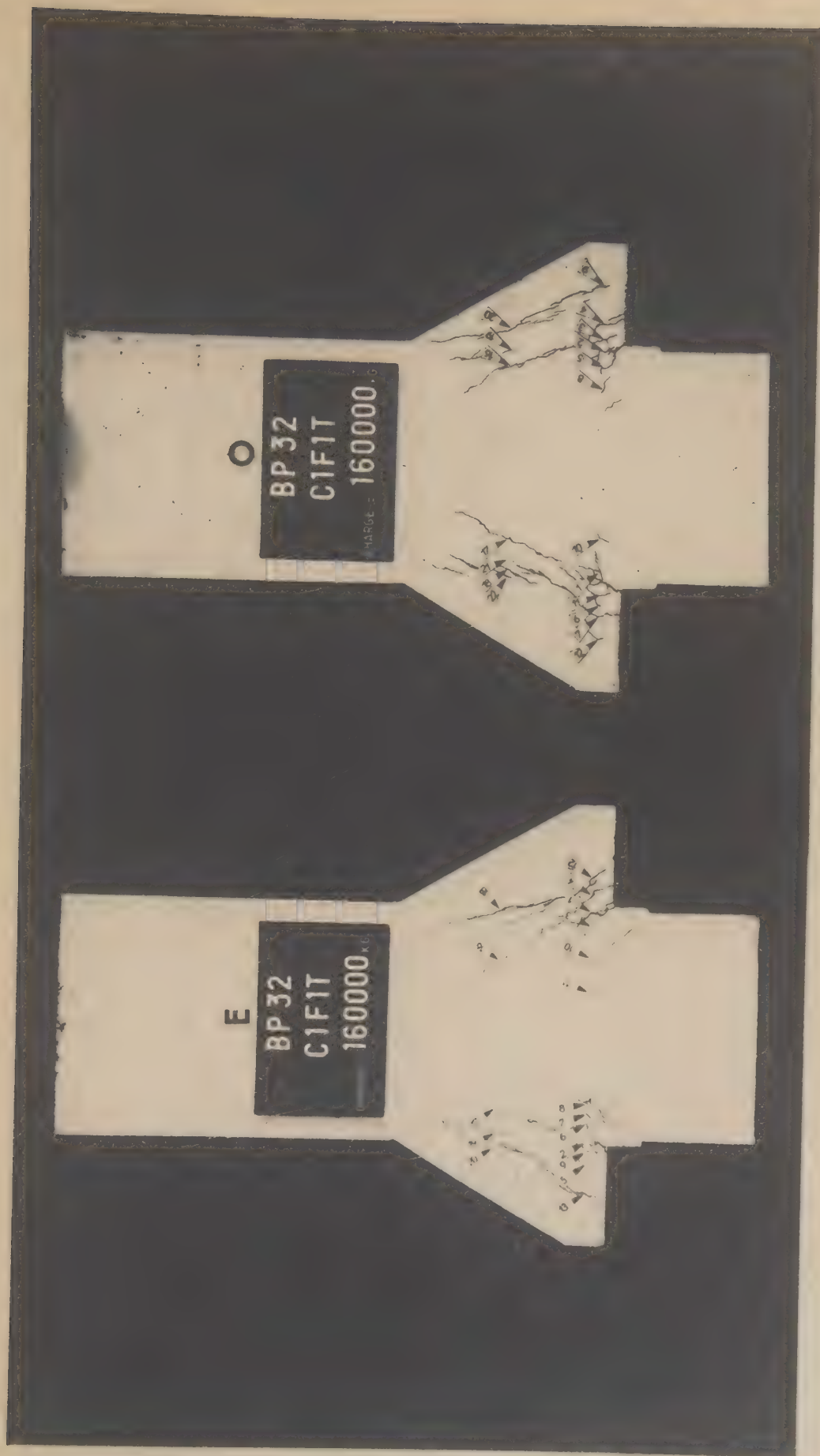


FIGURE 7 - CONSOLES DE PORTEE RELATIVE $\ell/h = 0,2$ DE FORME F¹, A TIRANTS FORMES DE RONDS $\varnothing 12$, SANS COUTURES, SOUS LA CHARGE DEVANT ENTRAÎNER LEUR RUPTURE. LA CHARGE INDIQUEE EST L'EFFORT EXERCE PAR LE VERIN DONT CHAQUE CONSOLE SUPPORTE LA MOITIE. CES CONSOLES SONT CALCULEES POUR UNE CHARGE LIMITE NOMINALE DE 100 TONNES PAR CONSOLE.

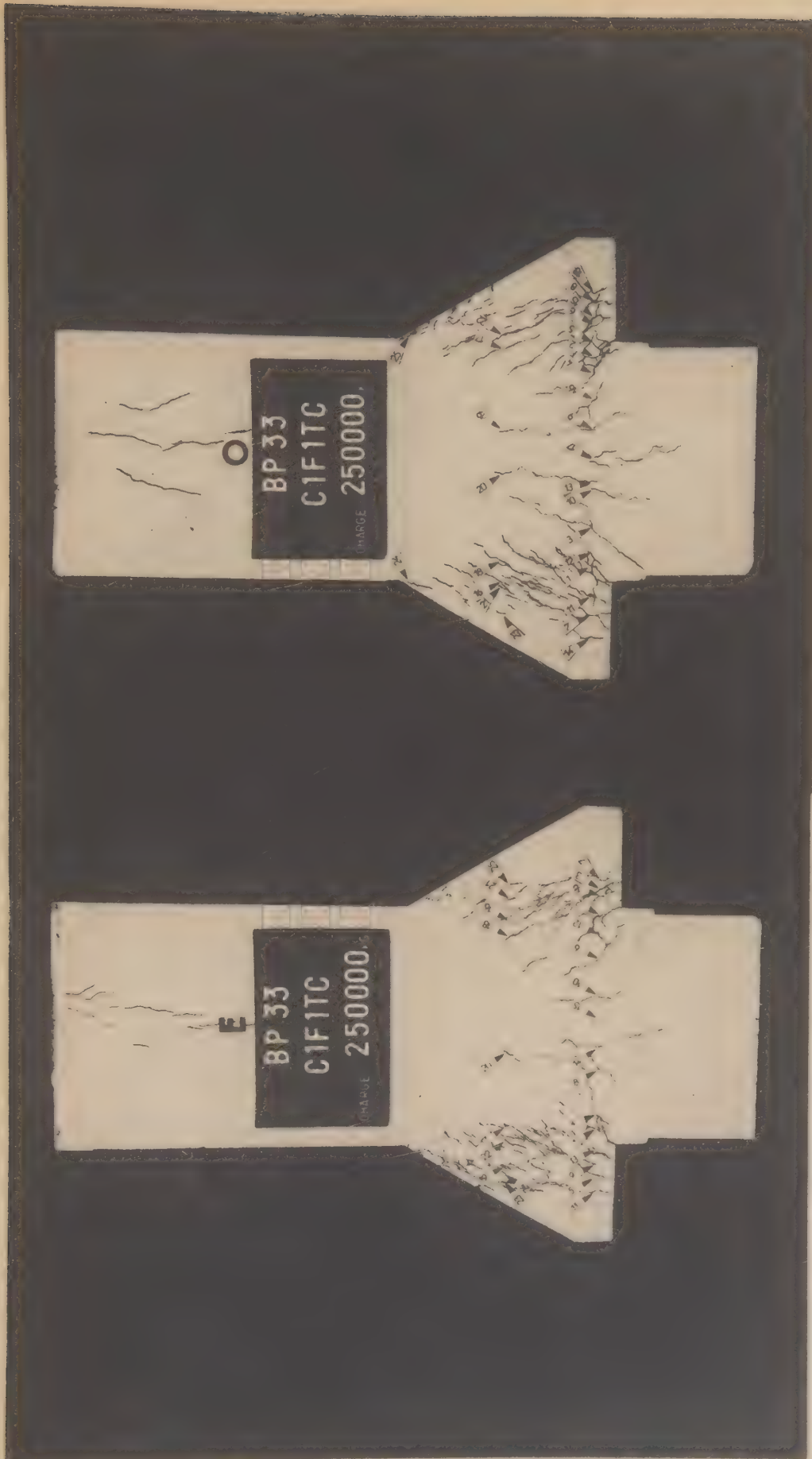


FIGURE 8 - CONSOLES DE PORTEE RELATIVE $\ell/h = 0,2$, DE FORME F_1 , A TIRANTS ET COUTURES FORMES DE RONDS $\phi 12$, SOUS LA CHARGE DE 125 t PAR CONSOLE.
 LA RUPTURE EST SURVENUE SOUS 141 t PAR CONSOLE.
 CES CONSOLES SONT CALCULEES POUR UNE CHARGE LIMITE NOMINALE DE 100 TONNES PAR CONSOLE.

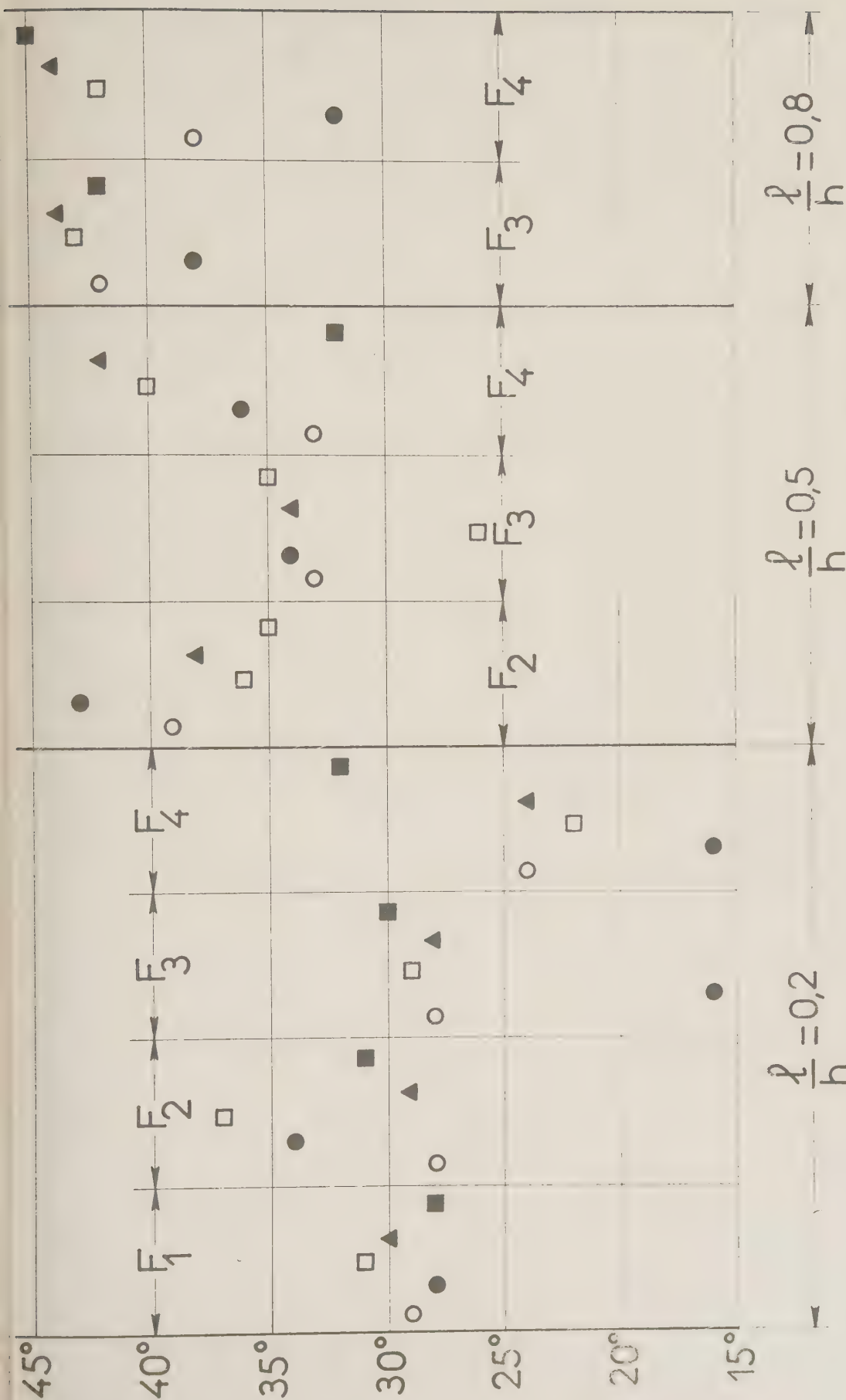


FIGURE 9 - ANGLE MOYEN DES FISSURES
AVEC LA VERTICALE.

(1ère série d'essais : les pièces sont calculées pour une charge limite nominale de 100 tonnes par console).

Légende	Sans coutures		Avec coutures	
	Tirant Ø 12	Tirant Ø 16	Ø 12	Ø 16
Tirant Ø 12	○	○	●	●
Tirant Ø 16	□	□	■	■
				▲

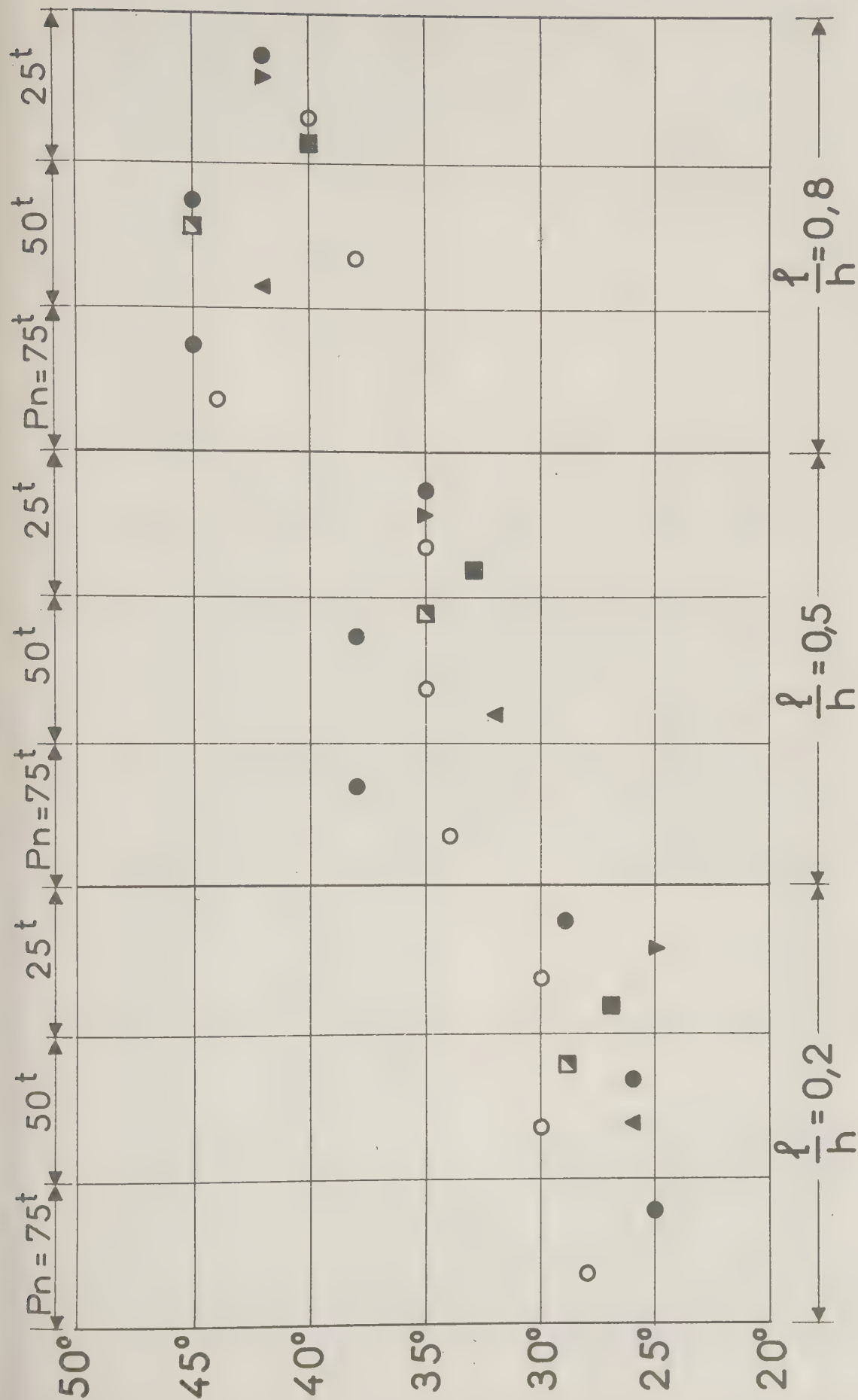


FIGURE 10 - ANGLE MOYEN DES FISSURES
AVEC LA VERTICALE.

(3ème et 4ème séries d'essais).

Légende	Pièces munies de coutures dont le % est de:					
	1,56	1,0	0,64	0,56	0,36	
Pièces sans coutures						
○	■	●	▲	▼		□



FIGURE 11 - RUPTURE SOUS 61 T D'UNE CONSOLE DE FORME F₄ EN CORBEAU, AU TIRANT FORME DE ROND $\varnothing$ 16, SANS COUTURES, ET DE PORTEE RELATIVE $\frac{L}{h} = 0,8$.

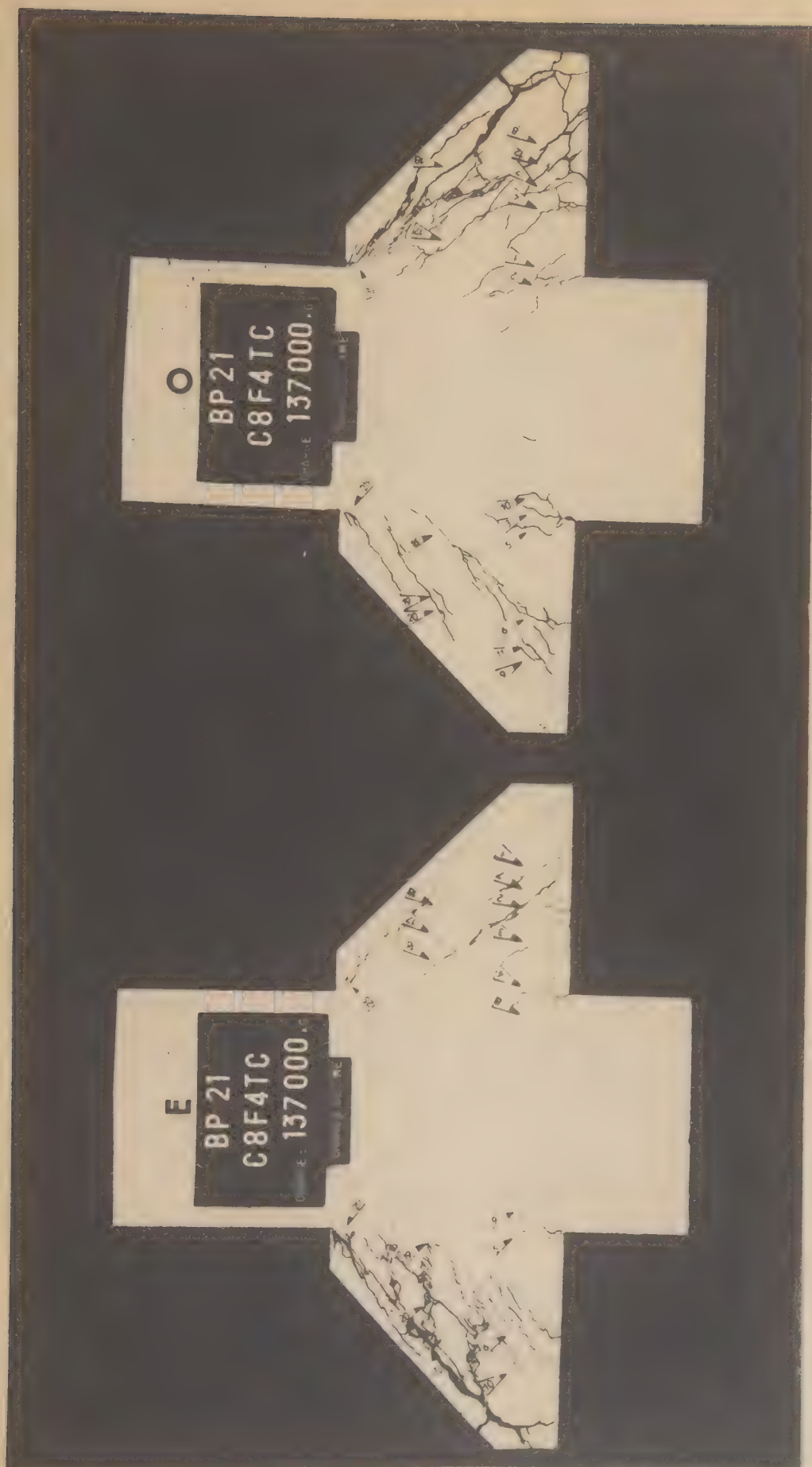


FIGURE 12 - RUPTURE SOUS 68,5 T D'UNE CONSOLE DE FORME F_4 EN CORBEAU AU TIRANT FORME DE ROUNDS $\emptyset 16$, MUNIE DE COUTURES EN ROUNDS $\emptyset 16$ ET DE PORTEE RELATIVE $\frac{\ell}{h} = 0,8$.

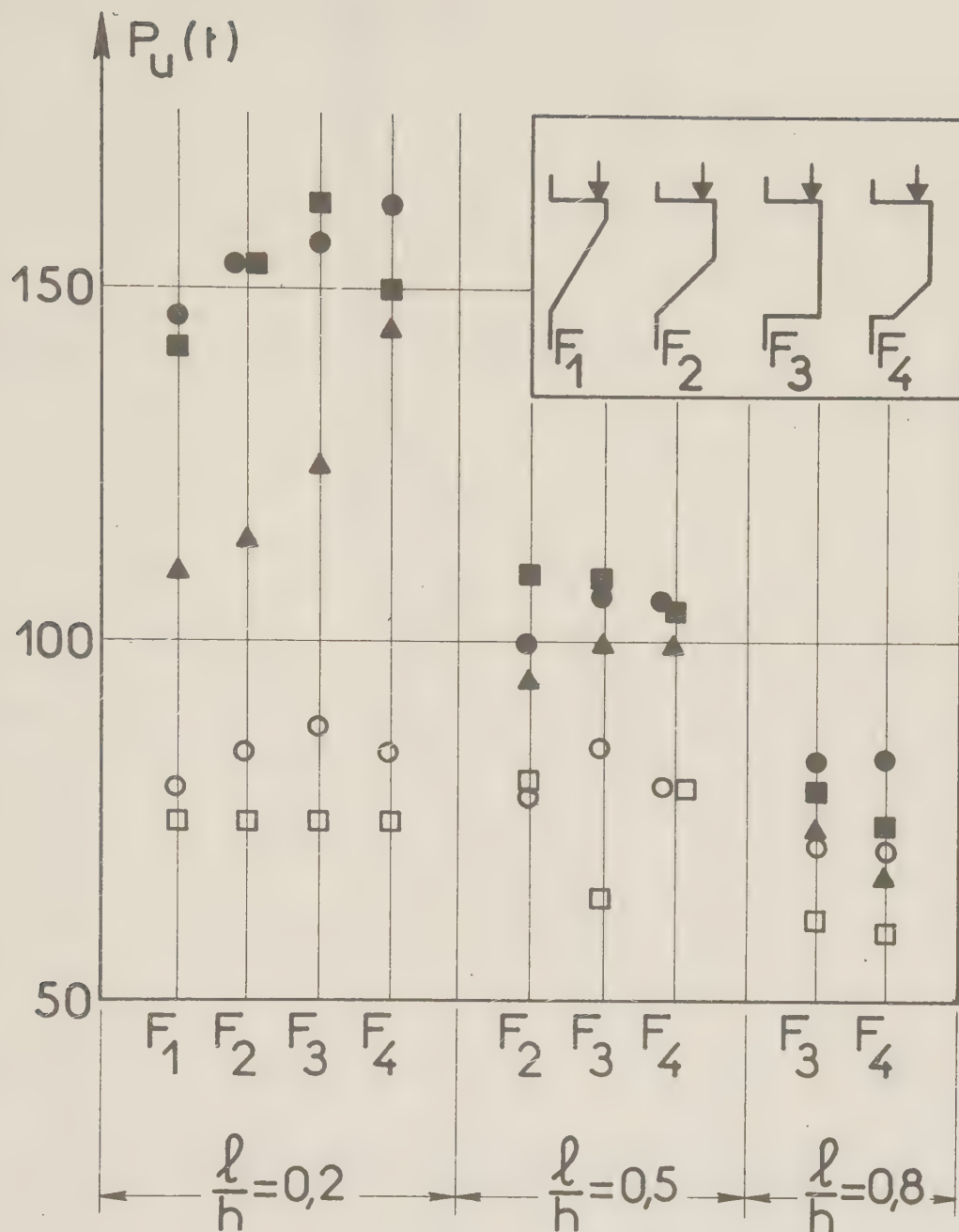


FIGURE 13 : CHARGES DE RUPTURE DES PIECES CALCULEES POUR UNE CHARGE LIMITE NOMINALE DE 100 t PAR CONSOLE.

Légende	Sans coutures	Avec coutures	
		Ø 12	Ø 16
Tirant Ø 12	○	●	
Tirant Ø 16	□	■	▲

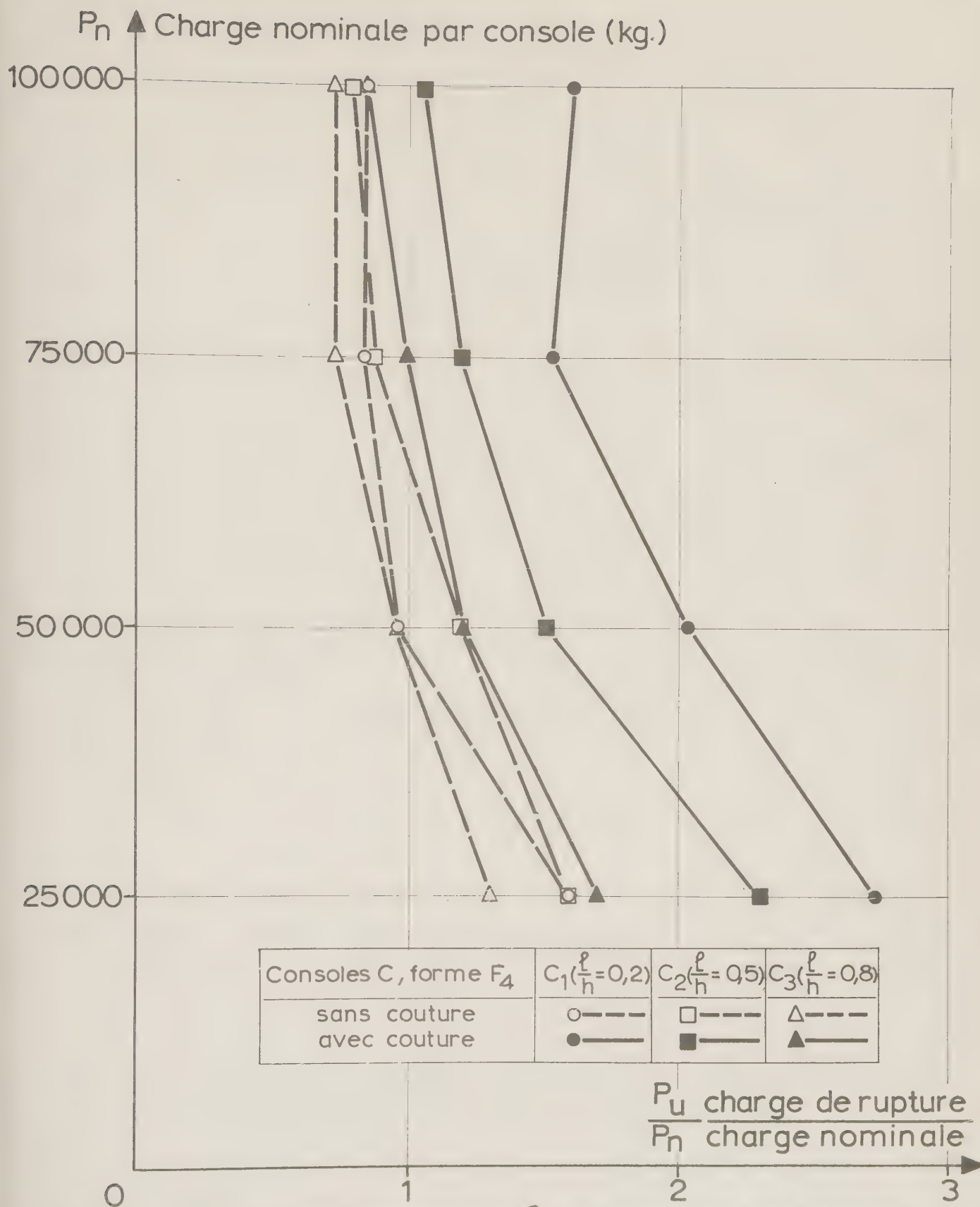


FIGURE 14 - VARIATION DU RAPPORT $\frac{P_u}{P_n}$ EN FONCTION DES CHARGES NOMINALES DES CONSOLES (3ème SERIE D'ESSAIS).

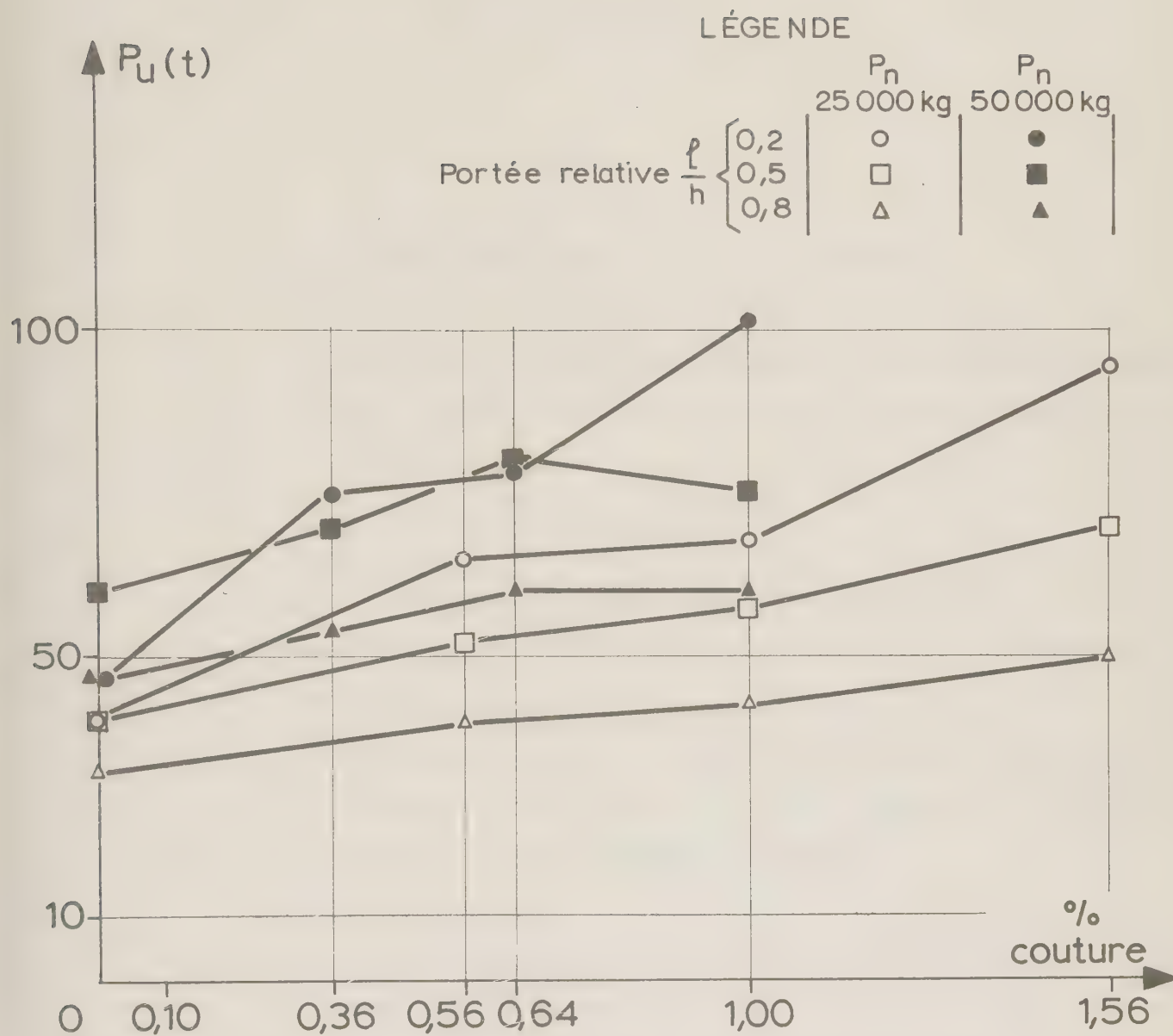


FIGURE 15 - CHARGE DE RUPTURE EN FONCTION DU POURCENTAGE DES COUTURES REPARTIES (4ème SERIE D'ESSAIS).

REMERCIEMENTS.

J'adresse mes remerciements respectueux à
Messieurs SIESTRUNCK et VICHNIEVSKY

Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de PARIS
pour l'intérêt bienveillant qu'ils ont bien voulu accorder à ce
travail.

J'exprime mes remerciements très sincères à
Monsieur J. R. ROBINSON

Ingénieur Général des Ponts et Chaussées
Professeur honoraire de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
Directeur de l'Institut de Recherches Appliquées du Béton Armé
pour sa direction précieuse et efficace.

Monsieur G. DREUX

Directeur Adjoint du Centre d'Essais des Structures
pour son aide matérielle utile

et tout le Personnel du Centre d'Essais des Structures
pour sa compétence et sa conscience professionnelle.

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

*" Combustion turbulente d'un mélange homogène
dans les réacteurs et dans les fours "*

Vu et approuvé :

Paris, le 8 Novembre 1968

**Le Doyen de la Faculté des Sciences
de Paris**

Marc ZAMANSKY

Vu

et permis d'imprimer :

**Le Recteur de l'Académie
de Paris**

Jean ROCHE

